

Aus der Orthopädischen Klinik
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

**Morphologische und Radiologische Daten
von isolierten Wirbelkörperendplatten
unter besonderer
Berücksichtigung der Radiodensitometrie**

Inauguraldissertation
zur

Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin

vorgelegt von
Ulrich UNFLATH
aus Wolfratshausen

Mainz 1979



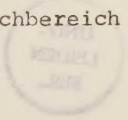
Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552619_0042

Aus der Orthopädischen Klinik
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Morphologische und Radiologische Daten von isolierten
Wirbelkörperendplatten unter besonderer Berücksichtigung
der Radiodensitometrie

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin



vorgelegt von
Ulrich UNFLATH
aus Wolfratshausen

Mainz 1979



1.	Einleitung	1
2.	Die Aufgaben der Jugendverbände	2
3.	Die Aufgaben der Jugendverbände	3
4.	Die Aufgaben der Jugendverbände	4
5.	Die Aufgaben der Jugendverbände	5
6.	Die Aufgaben der Jugendverbände	6
7.	Die Aufgaben der Jugendverbände	7
8.	Die Aufgaben der Jugendverbände	8
9.	Die Aufgaben der Jugendverbände	9
10.	Die Aufgaben der Jugendverbände	10
11.	Die Aufgaben der Jugendverbände	11
12.	Die Aufgaben der Jugendverbände	12
13.	Die Aufgaben der Jugendverbände	13
14.	Die Aufgaben der Jugendverbände	14
15.	Die Aufgaben der Jugendverbände	15
16.	Die Aufgaben der Jugendverbände	16
17.	Die Aufgaben der Jugendverbände	17
18.	Die Aufgaben der Jugendverbände	18
19.	Die Aufgaben der Jugendverbände	19
20.	Die Aufgaben der Jugendverbände	20
21.	Die Aufgaben der Jugendverbände	21
22.	Die Aufgaben der Jugendverbände	22
23.	Die Aufgaben der Jugendverbände	23
24.	Die Aufgaben der Jugendverbände	24
25.	Die Aufgaben der Jugendverbände	25
26.	Die Aufgaben der Jugendverbände	26
27.	Die Aufgaben der Jugendverbände	27
28.	Die Aufgaben der Jugendverbände	28
29.	Die Aufgaben der Jugendverbände	29
30.	Die Aufgaben der Jugendverbände	30
31.	Die Aufgaben der Jugendverbände	31
32.	Die Aufgaben der Jugendverbände	32
33.	Die Aufgaben der Jugendverbände	33
34.	Die Aufgaben der Jugendverbände	34
35.	Die Aufgaben der Jugendverbände	35
36.	Die Aufgaben der Jugendverbände	36
37.	Die Aufgaben der Jugendverbände	37
38.	Die Aufgaben der Jugendverbände	38
39.	Die Aufgaben der Jugendverbände	39
40.	Die Aufgaben der Jugendverbände	40
41.	Die Aufgaben der Jugendverbände	41
42.	Die Aufgaben der Jugendverbände	42
43.	Die Aufgaben der Jugendverbände	43
44.	Die Aufgaben der Jugendverbände	44
45.	Die Aufgaben der Jugendverbände	45
46.	Die Aufgaben der Jugendverbände	46
47.	Die Aufgaben der Jugendverbände	47
48.	Die Aufgaben der Jugendverbände	48
49.	Die Aufgaben der Jugendverbände	49
50.	Die Aufgaben der Jugendverbände	50

Dekan: Prof. Dr. med. H. Leithoff

1. Gutachter: Prof. Dr. med. P. Otte

2. Gutachter: Prof. Dr. med. J. Kutzner

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.1979

	Seite
1. Einleitung	1
2. Material und Methode	3
2.1 Kennzeichnung und Aufbereitung des Materials	3
2.1.1. Die Gewinnung der Rohpräparate	3
2.1.2. Die Aufarbeitung der Rohpräparate zur isolierten Endplatte	5
2.2. Methodik	7
2.2.1. Klassifizierung der Merkmale	7
2.2.1.1. Übersicht	7
2.2.1.2. Das Merkmal Osteophyten	8
2.2.1.3. Das Merkmal Randleistenbeschaffenheit	9
2.2.1.4. Das Merkmal Randleistenübergang	13
2.2.1.5. Das Merkmal Lamina cribrosa	14
2.2.2. Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte	17
2.2.2.1. Die absolute Konkavität (Ausmuldungstiefe)	17
2.2.2.2. Der Konkavitätsquotient der Endplatte	19
2.2.3. Die Densitometrie (Ca-Dichte) der Endplatte	20
2.2.3.1. Die Herstellung eines Referenzsystems	20
2.2.3.2. Aufnahmetechnik	22
2.2.3.3. Technik der Auswertung	26
2.2.3.4. Kriterien für die Auswertung der Densitometerkurven	29
3. Ergebnisse	34
3.1. Vorbemerkung	34
3.2. Makromorphologische Befunde	35
3.2.1. Merkmal Osteophyten	35
3.2.2. Merkmal Randleistenbeschaffenheit	37
3.2.3. Merkmal Randleistenübergang	40
3.2.4. Merkmal Lamina cribrosa	42
3.3. Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte	44
3.3.1. Merkmal absolute Konkavität	44
3.3.2. Merkmal Konkavitätsquotient	46
3.4. Radio-densitometrische Befunde	48
3.4.1. Merkmal Dichte der Gesamtprofile	48

	Seite
3.4.2. Merkmal Dichte der Laminae	50
3.4.3. Merkmal Dichtedifferenz Randleiste - Lamina	52
3.4.4. Merkmal Anisotropie der Gesamtprofile	54
3.4.5. Merkmal Anisotropie der Laminae cribrosae	56
3.4.6. Merkmal Randleistenmineralisierung	58
3.5. Korrelation	60
3.5.1. Korrelation der morphologischen Daten	60
3.5.2. Korrelation der radiologischen Daten untereinander	61
3.5.3. Korrelation der morphologischen und radiologischen Daten	63
4. Diskussion	67
5. Zusammenfassung	82
6. Literaturverzeichnis	86
7. Tabellarischer Anhang	87

1. Einleitung

Die Wirbelkörperendplatten werden auch Deck- und Schlußplatten (Grundplatten) genannt. Sie stellen die Kontaktfläche der Wirbelkörper zum Discus intervertebralis dar. Während der Skelettentwicklung ist die von ihnen eingenommene Fläche mit der Wachstumszone identisch. Hier erfolgt nach dem allgemeinen Prinzip der Volumenzuwachs durch Knorpelproliferation und die Knochenbildung auf dem Wege der enchondralen Ossifikation.

Nach Abschluß des Wachstums verbleibt eine dünne Knorpelplatte analog dem Gelenkknorpel an den Epiphysen der Extremitäten. In beiden Fällen findet man eine subchondrale Knochenlamelle. Letztere zeigt beim Wirbel eine charakteristische Struktur, die zur Bezeichnung Lamina cribrosa geführt hat. Diese siebartige Gestaltung nimmt den größten und zentralen Bezirk der Endplatten ein, deren Peripherie von den sogenannten Randleisten gebildet wird. Die Randleiste gilt als stabile Verankerung für den Anulus fibrosus, dessen Fasern eine straffe Verbindung zwischen zwei benachbarten Wirbelkörpern herstellen.

Aufgrund ihrer siebartigen Struktur wird von der Endplatte angenommen, daß sie besonders durchlässig ist und damit die Ernährung der Knorpelplatte und vor allem des Discus intervertebralis von der Markhöhle des Wirbelknochens her ermöglicht.

Im Röntgenbild stellen die Endplatten einen wesentlichen morphologischen Bestandteil der Lendenwirbelsäule dar und werden routinemäßig befundet. Wichtige Röntgenbefunde sind die von der Peripherie ausgehenden Osteophyten bei der Spondylose, die Sklerosierung der korrespondierenden Deck- und Abschlußplatten bei der Osteochondrose und die Konkavierung bei der Osteoporose. Seltener sind

im Lendenteil Unregelmäßigkeiten der Begrenzung (nach juveniler Osteochondrose) und Chordarückbildungsstörungen zu registrieren.

Die genannten Form- und Strukturstörungen der Lendenwirbel sind klinisch am besten im frontalen Strahlengang sichtbar zu machen. Die jeweils zur optimalen Darstellung angestrebte orthograde Strahlenrichtung kommt für die Endplatten naturgemäß nicht in Betracht. Zum Studium ihrer morphologischen Verhältnisse muß man daher auf Präparate zurückgreifen. An den isolierten Deck- und Abschlußplatten ist sowohl eine vertikale, d.h. orthograde Röntgenaufnahme möglich, als auch nach Mazeration die makroskopische Beurteilung der sonst verdeckten "Bandscheibenseite" der Wirbelkörper.

Eine zusammenhängende Darstellung derartiger Befunde findet sich in der Literatur nicht. Da im Zusammenhang mit der Pathophysiologie der Bandscheiben ein Bedarf an Information über alle in Frage kommenden Variablen der Endplatten im Zusammenhang mit spondylotischen und osteoporotischen Veränderungen besteht, wurden in der Orthopädischen Universitätsklinik Mainz entsprechende Studien geplant. In diesem Zusammenhang wurde mir die Aufgabe gestellt, die Untersuchungsmöglichkeiten präparativ gewonnener Wirbelkörperendplatten auszuarbeiten, die

1. sowohl den makroskopisch-morphologischen Sektor betreffen als auch eine Quantifizierung der Konkavierung mit einschließen und
2. Methoden zur röntgenologischen und densitometrischen Analyse auszuarbeiten.

Als Ergebnis wurde eine Aussage darüber erwartet, welche der genannten Fakten für weitere Untersuchungen verwertbare Parameter darstellen.

2. Material und Methode:

2.1. Kennzeichnung und Aufbereitung des Materials

2.1.1. Die Gewinnung der Rohpräparate

Die Untersuchungen stützen sich auf 30 Präparate von nicht sortierten Lendenwirbelsäulen aus dem Sektionsgut des Pathologischen Instituts in Mainz. Patienten mit tumorösen und destruierenden Veränderungen wurden ausgeklammert. Über die Verteilung von Alter und Geschlecht gibt Tabelle 1 Auskunft.

Tabelle 1:

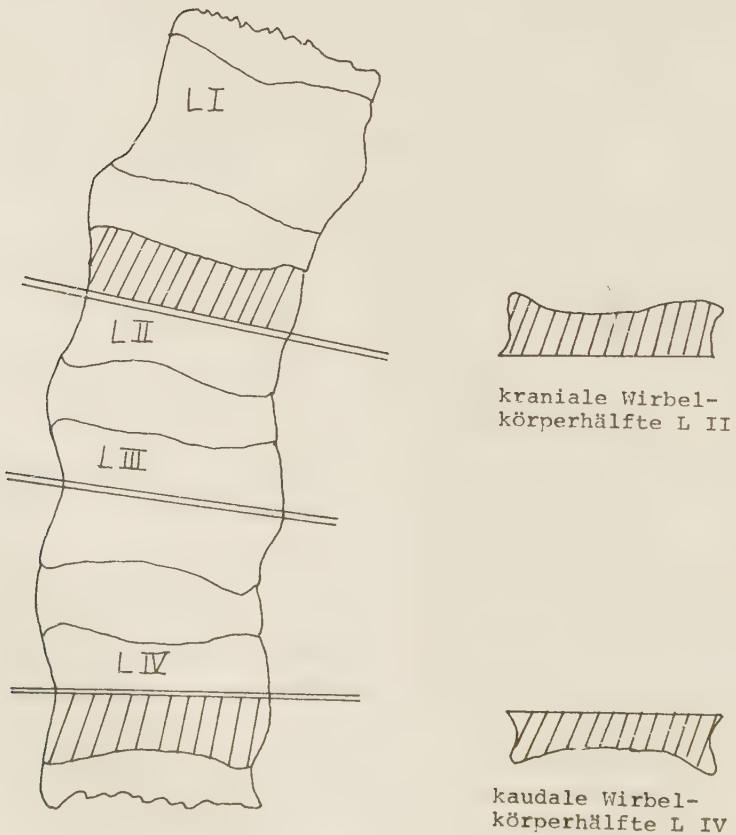
Alter (Jahre)	Männer	Frauen	Zusammen
40 - 50	0	1	1
50 - 60	0	3	3
60 - 70	3	10	13
70 - 80	3	7	10
80 - 90	2	1	3
Insgesamt:	8	22	30

Bei den Präparaten handelt es sich um komplette Lendenwirbelsäulen, aus denen mit der Bandsäge nach dem Abtrennen der Wirbelbögen der kraniale Wirbelkörperanteil von LWK II und der kaudale Wirbelkörperanteil von LWK IV herauspräpariert wurde. Anschließend wurden mit Skalpells und Raspatorium die verbliebenen Weichteile und Disci intervertebrales abgeschabt.

Abb. 1 zeigt den Präparierplan mit schraffierter Hervorhebung der Wirbelkörperanteile, die für die Untersuchung zur Verfügung standen. Es handelt sich um die obere End-

platte (Deckplatte) von L II und die untere Endplatte (Grundplatte) von L IV. Die übrigen Teilstücke fanden Verwendung in zu dieser Arbeit parallel laufenden Versuchen im Forschungsvorhaben Discusexpansion.

Abb. 1: Präparierplan



2.1.2. Die Aufarbeitung der Rohpräparate zur isolierten Endplatte

Aus den beiden Lendenwirbelkörperhälften wurden nun Mazerationspräparate hergestellt. Die Knochenteile wurden in 4 %iges Antiformin eingelegt und dabei im Wasserbad konstant auf 60° C gehalten. Nach 6 Stunden wurden die mazerierten Weichteile unter heißem Wasser abgespritzt, vorsichtig abgebürstet und die Präparate 24 Stunden unter fließendem Wasser ausgewaschen. Anschließend wurden die Knochenstücke in 2 %iger Wasserstoffperoxydlösung 12 Stunden lang gebleicht, wiederum ausgewaschen und getrocknet.

Um später radiologisch die isolierte Endplatte erfassen zu können, wurde nun mit einer feinen Knochenfräse der Spongiosaanteil des Lendenwirbelkörpers in Richtung auf die Grund- bzw. Deckplatte bis zur subchondralen Knochenlamelle abgetragen. Dazu wurden alle vertikalen Strukturen, d.h. das spongiöse Netzwerk so weit entfernt, bis deutlich horizontale Strukturen von feinwabig dichten, kompaktähnlichem Aufbau (evtl. auch nur deutliche Spongiosaverdichtungen) erkennbar waren. An den Stellen, wo eine solche Unterscheidung nicht möglich war, die Endplatte also spongiosaähnlichen Aufbau hatte und wabig durchsetzt bzw. resorbiert war, wurden die Spongiosabälkchen in einer Stärke, die der durchschnittlichen Endplattenstärke des jeweiligen Präparates entsprach, belassen.

Abb. 2:

Das schichtweise Abfräsen
der Spongiosa

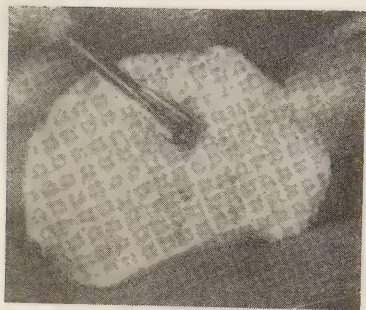
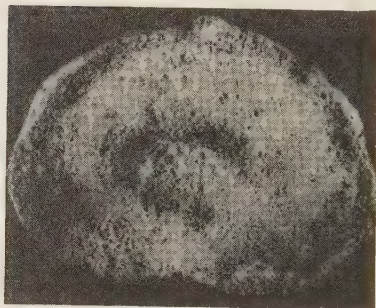


Abb. 3:

Eine fertig präparierte
Wirbelkörperschlußplatte



2.2. Methodik

2.2.1. Klassifizierung der Merkmale

2.2.1.1. Übersicht

Untersucht wurde jeweils die Facies terminalis cranialis des 2. und die Facies terminalis caudalis des 4. LWK. Zur photographischen Dokumentation der mazerierten und präparierten Endplatten wurden Vergrößerungen vom Format 18 x 24 cm hergestellt.

Bei der ersten Betrachtung der Einzelpräparate überraschte die morphologische Vielfalt der Erscheinungsformen der Grund- und Deckplatten. Durch die systematische Untersuchung und Gegenüberstellung von besonders markanten Präparaten konnten bestimmte morphologische Gesichtspunkte herausgearbeitet werden, mit denen die Endplatten nach einem festen Schema systematisch erfaßt und eingeordnet werden konnten.

Dazu wurden Grund- und Deckplatten, wie Abb. 4 zeigt, grob in folgende beide Bezirke unterteilt: Die konvexe Randleiste und die konkave Lamina cribrosa.

Abb. 4



Die Befundung im Sinne der makroskopischen Morphologie wurde auf folgende Kriterien ausgedehnt:

1. Merkmal: Osteophyten
2. Merkmal: Beschaffenheit der Randleiste
3. Merkmal: Randleistenübergang
4. Merkmal: Beschaffenheit der Lamina cribrosa

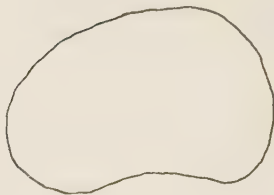
2.2.1.2. Das Merkmal Osteophyten

Das Merkmal Osteophyten bezieht sich auf die Ausprägung der deformierenden Spondylophyten. Es wurden insgesamt 4 Gradausprägungen von 0 - 3 unterschieden, die in Tabelle 2 definiert sind.

Tabelle 2:

Merkmal Osteophyten	
Grad	Kriterien
0	glatte Ränder
1	geringe Unregelmäßigkeiten
2	mittlere Unregelmäßigkeiten
3	Spondylophyten

Abb. 5 erläutert die Zusammenhänge schematisch, Abbildungen 6 und 7 geben Bildbeispiele aus der Versuchsreihe.



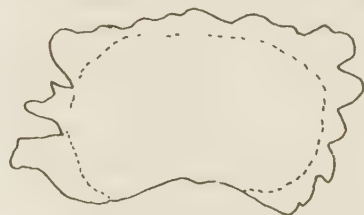
glatte Ränder (0)



geringe Unregelmäßigkeiten (1)



mittlere Unregelmäßigkeiten (2)



Spondylophyten (3)

Abb. 5: Spondylosekriterien schematisch

Abb. 6:

Merkmal Osteophyten:
glatte Ränder (0)

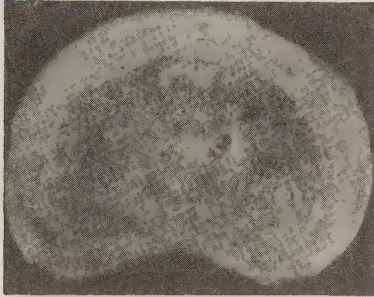
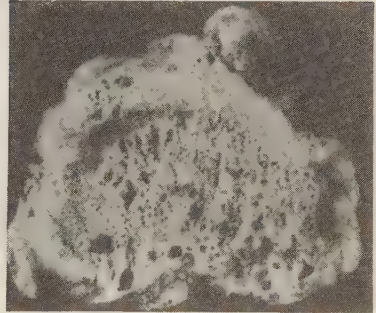


Abb. 7:

Merkmal Osteophyten:
ausgeprägte Randwülste
mit Spondylophyten (3)



2.2.1.3. Das Merkmal Randleistenbeschaffenheit

Die Randleiste wurde beurteilt nach ihrer Breite, ihrem Verlauf und nach ihrer Oberflächenstruktur. Dabei wurde differenziert in Präparate mit normal breiten, schmalen und verbreiterten Randleisten. Der Verlauf wurde auf seine Gleichmäßigkeit hin untersucht. Man kann Randleisten, die sich als gleichmäßiger, ringförmiger Wulst gegenüber der Lamina cribrosa absetzen, von solchen, die unregelmäßig gezackt, landzungenartig in die Lamina cribrosa hineinreichen, unterscheiden. Nach Aufbau der Randleiste wurde unterteilt in vorwiegend geschlossene und in vorwiegend perforierte Oberflächenstrukturen. Bei der Bewertung fanden die in Tabelle 3 aufgeführten Grade bzw. Symbole Verwendung.

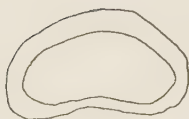
Tabelle 3:

Merkmal Randleiste	
<u>Grad/Symbol</u>	<u>Kriterien</u>
1	normale Breite
2	schmal
3	breit
A	gleichmäßiger Verlauf
B	ungleichmäßiger Verlauf (Landzungenphänomen)
a	Oberflächenstruktur, vorwiegend geschlossen
b	Oberflächenstruktur, vorwiegend perforiert

Die folgenden Skizzen und Bildbeispiele (Abb. 8 - 15) verdeutlichen die Bewertung der Randleistenmerkmale.

Abb. 8:

Breite der Randleiste schematisch



Randleiste
normal breit (1)



Randleiste
schmal (2)



Randleiste
breit (3)

Abb. 9:

Merkmal Randleistenbreite:
Randleiste schmal (2)

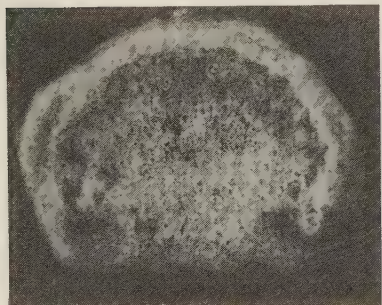


Abb. 10:

Merkmal Randleistenbreite:
Randleiste breit (3)

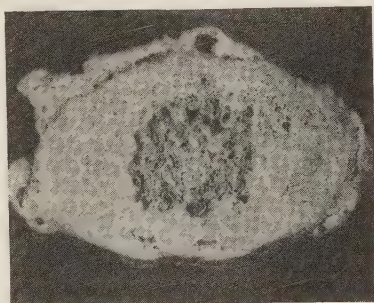
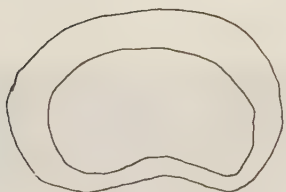
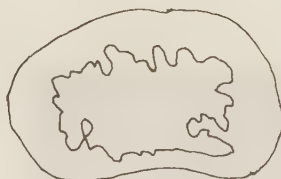


Abb. 11:

Der Randleistenverlauf schematisch



Randleistenverlauf:
gleichmäßig (A)



Randleistenverlauf:
ungleichmäßig (Landzungen-
phänomen) (B)

Abb. 12:

Merkmal Randleistenverlauf:
Randleiste gleichmäßig (A)

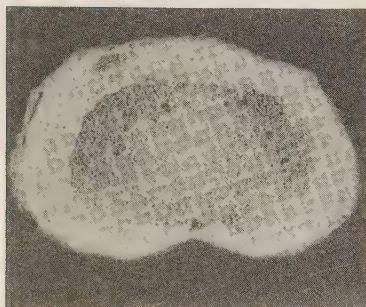


Abb. 13:

Merkmal Randleistenverlauf:
Randleiste unregelmäßig (B)

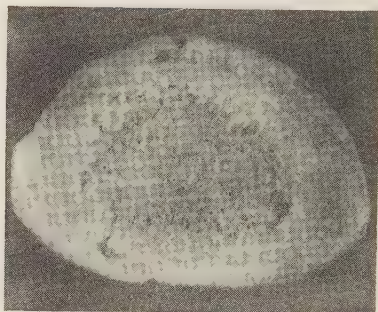


Abb. 14:

Merkmal Randleistenverlauf
Oberflächenstruktur:
vorwiegend geschlossen (a)

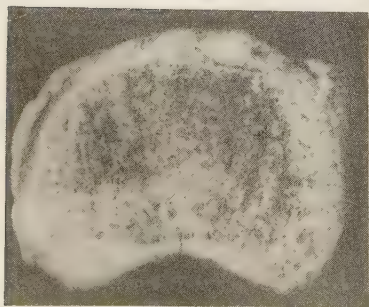
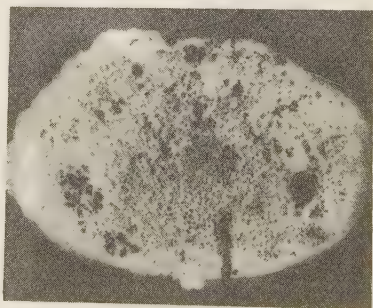


Abb. 15:

Merkmal Randleistenverlauf
Oberflächenstruktur:
vorwiegend perforiert (b)



2.2.1.4. Das Merkmal Randleistenübergang

Der Übergang von der Randleiste zur Lamina wurde in bezug auf seine Schärfe bzw. seine Unschärfe hin betrachtet. Man findet Präparate, bei denen sich die Randleiste - unabhängig davon, ob ihr Verlauf regelmäßig oder unregelmäßig ist - deutlich von der Lamina cribrosa abhebt, und es gibt wiederum solche, bei denen dieser Übergang unscharf und verwaschen ist, so daß nicht eindeutig definiert werden kann, wo die Randleiste aufhört bzw. die Lamina cribrosa beginnt.

In Tabelle 4 werden folgende Bewertungsgrade unterschieden:

Tabelle 4:

Merkmal Randleistenübergang	
Grad	Kriterien
1	Randleistenübergang scharf
2	Randleistenübergang unscharf

Beispiele dafür geben die Grundplatte Präparat Nr. 28 (Abb. 16) und die Grundplatte Präparat Nr. 5 (Abb. 17).

Abb. 16.

Merkmal Randleistenübergang:
scharf (1)

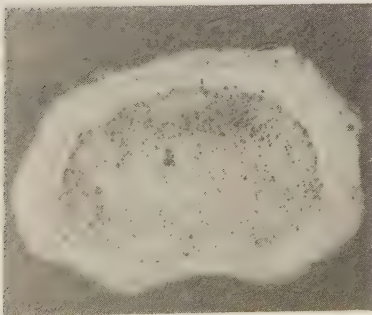
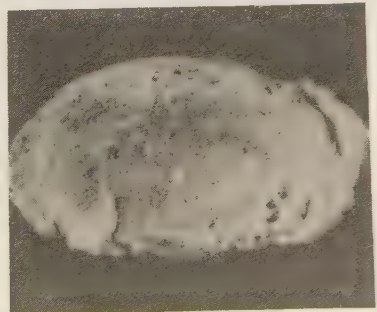


Abb. 17:

Merkmal Randleistenübergang:
unscharf (2)



2.2.1.5. Das Merkmal Lamina cribrosa

Die Lamina cribrosa wurde nach ihrer Oberflächenstruktur, insbesondere nach der Porengröße beurteilt. Dabei ergaben sich folgende Gruppen:

Präparate mit feinporig dichter und regelmäßiger Struktur, Präparate, die feinporig sind, aber einige vergrößerte Poren aufweisen, Präparate mit mittelgroßen Poren und kleinen Unregelmäßigkeiten und Präparate mit großen Poren und unregelmäßig aufgelockerten Bezirken.

Bei der Befundung fanden die in Tabelle 5 aufgeführten Bewertungsgrade Verwendung.

Tabelle 5:

Merkmal Lamina cribrosa

<u>Grad</u>	<u>Kriterien</u>
1	feinporig dicht und regelmäßig
2	wie 1, jedoch einige vergrößerte Poren
3	mittelgroße Poren, kleine Unregelmäßigkeiten
4	große Poren, unregelmäßig aufgelockerte Bezirke

Darüber hinaus wurden die Laminae in bezug auf Unebenheiten (Abweichungen und Unterschiede im Kalottenniveau) und Einbruchszonen (Stellen, an denen die eigentliche Endplatte fehlt bzw. resorbiert ist oder als umschriebene Scholle zentripetal in das spongiöse Netzwerk eingebrochen ist) betrachtet.

Im Verlauf der Untersuchung stellte sich jedoch heraus, daß diese beiden Merkmale nur ungenügend genau und lediglich subjektiv bestimmbar waren, so daß auf eine endgültige Befundung von Unebenheiten und Einbruchszonen im Ergebnisteil verzichtet wurde.

Die Abbildungen 18 - 21 erläutern die Bewertung der Lamina cribrosa nach der Porengröße mit 4 Bildbeispielen aus der Versuchsreihe.

Abb. 18.

Merkmal Lamina cribrosa:
feinporig dicht und
regelmäßig (1)

Abb. 19:

Merkmal Lamina cribrosa:
wie 1, jedoch einige
vergrößerte Poren (2)

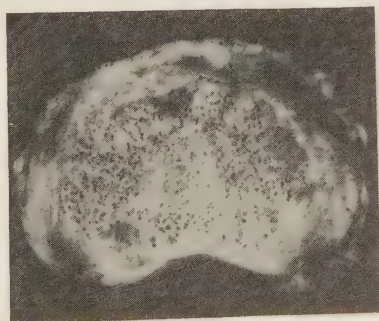
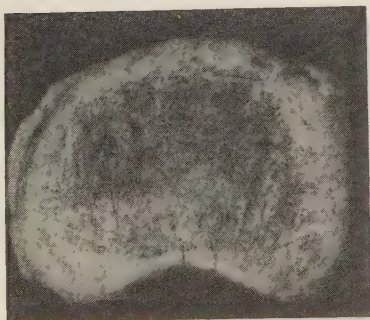


Abb. 20:

Merkmal Lamina cribrosa:
mittelgroße Poren, geringe
Unregelmäßigkeiten (3)

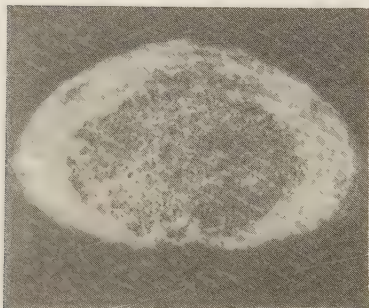
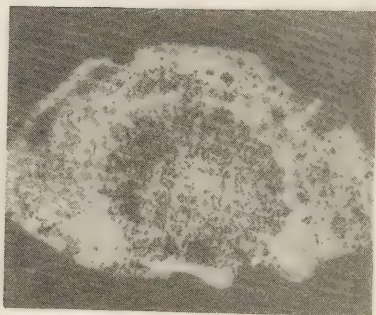


Abb. 21:

Merkmal Lamina cribrosa:
große Poren, unregelmäßig
aufgelockerte Bezirke (4)



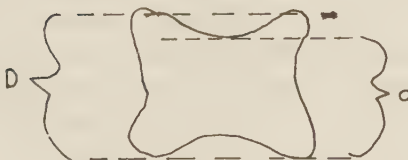
2.2.2. Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte

2.2.2.1. Die absolute Konkavität (Ausmoldungstiefe)

Grund- und Deckplatten weisen eine mehr oder weniger starke Ausmoldung in Richtung auf den Wirbelkörpermarkraum auf. Diese kommt dadurch zustande, daß der schmale konvexe Randwulst in die konkave Lamina cribrosa übergeht, die Lamina also zum Markraum hin (zentripetal) gewölbt ist. Der vertikale Abstand von Schluß- und Deckplatte ist daher peripher größer als in der Mitte des Wirbelkörpers. Dieses Phänomen kann z.B. bei osteoporotischen Veränderungen der Wirbelsäule extreme Ausmaße annehmen. BARNETT und NORDIN untersuchten diese Tatsache anhand klinischer Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule und führten 1961 den Bikonkavitätsindex ein. Darauf bezugnehmend wurde der tatsächliche Niveauunterschied zwischen Randwulst und tiefster Ausmoldung der Lamina im Sinne eines halbierten Bikonkavitätsindex ermittelt. Dieser Meßwert wurde absolute Konkavität K der Endplatte genannt. Er gibt im Gegensatz zur Auswertung des klinischen Röntgenbildes (BARNETT und NORDIN 1961) die exakten dreidimensionalen Beziehungen wieder. Die Zusammenhänge zeigt Abb. 22.

Abb. 22:

(a)



(b)



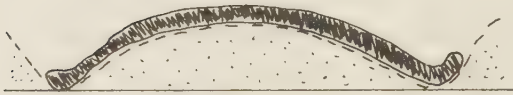
(a) Der Bikonkavitätsindex nach NORDIN (Quotient aus der geringsten meßbaren Wirbelhöhe d und der höchsten meßbaren Wirbelhöhe D , multipliziert mit dem Faktor 100)

(b) Die absolute Konkavität K (tiefste Ausmoldung der Endplatte, direkt am Präparat gemessen)

Die Ausmoldung der Wirbelkörperendplatte wurde indirekt unter Zuhilfenahme eines Gipsabdruckes der Endplatte gemessen. Dazu wurde sahnig angerührter Abdruckgips, wie er in der Zahnheilkunde Verwendung findet, auf eine plane Unterlage, die zur Isolierung mit Cellophanfolie belegt war, aufgebracht. Über das Abformmaterial wurde nun lose ein Stück hauchdünner Kunststoffolie gelegt und die Endplatte mit ihrer konkaven Außenseite so lange auf die plane Unterlage gedrückt, bis der Randwulst gleichmäßig auflag. Der Druck wurde so dosiert, daß der Rand zwar einerseits ganz durchgedrückt war, also der Gips zwischen Rand und Unterlage verdrängt war, andererseits aber die Endplatte nicht verformt wurde.

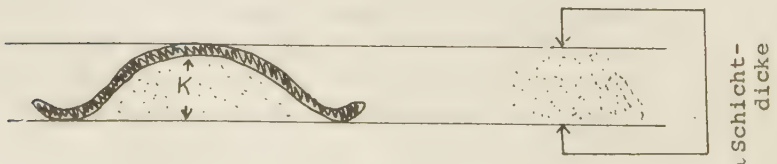
Abb. 23:

-  Präparat
-  Kunststoffolie
-  Abdruckgips
-  plane Unterlage



Nach Abbinden des Gipses wurde die Endplatte abgehoben, die Folien auseinandergezogen und die Randüberschüsse des Abdrucks abgebrochen. Kriterien für die gelungene Abformung waren die faltenlose Darstellung der Lamina cribrosa und das eindeutige, flächenhafte Aufliegen des Randes (Schichtdicke des Gipses gleich Null) in allen Stützzonen.

Abb. 24:

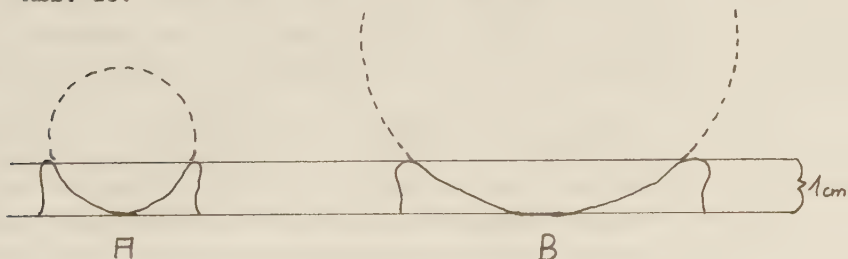


Mit einem Dicken-Meßgerät wurde nun auf 1/10tel Millimeter genau die maximale Schichtdicke des Gipsabdrucks bestimmt, die, wie aus Abb. 24 ersichtlich, dem Wert der größten Ausmuldung der Endplatte entspricht.

2.2.2.2. Der Konkavitätsquotient der Endplatte

Der tatsächliche Meßwert der absoluten Konkavität wurde nun in Beziehung zur Fläche der Endplatte gesetzt und daraus der Zusammenhang für die relative Konkavität des Wirbels hergeleitet. Sieht man nämlich den Wirbelkörper als räumliches Gebilde, so ist die Endplatte bei gleichen metrischen Werten der Ausmuldung K in dem Maß weniger konkav, in dem ihre Fläche zunimmt. Dies veranschaulicht Abb. 25 mit einem Längsschnitt durch den Wirbelkörper.

Abb. 25:



Der Krümmungsradius ist im Fall A kleiner als in dem in Abb. B gezeigten Beispiel, B also bei gleicher Ausmuldung weniger konkav als A. Dieser Sachverhalt wurde folgendermaßen mathematisch ausgedrückt: Der absolute Millimeterbetrag der Ausmuldung K wurde mit 1000 multipliziert, durch die Fläche der Endplatte dividiert und das Ergebnis gleich dem Konkavitätsquotienten dK gesetzt.

$$\text{Konkavitätsquotient dK} = \frac{1000 K \text{ (mm)}}{F \text{ (mm}^2 \text{)}}$$

Die Fläche der Endplatte wurde im Versuch vereinfacht als Produkt aus dem maximalen Durchmesser der Endplatte und demjenigen Durchmesser, der senkrecht durch die Mitte von Dmax gelegt wurde, näherungsweise bestimmt. Die beiden Strecken (Dmax und Dsenkrecht) wurden mit dem Lineal auf mm genau gemessen.

2.2.3. Die Densitometrie (Ca-Dichte) der Endplatte ')

2.2.3.1. Die Herstellung eines Referenzsystems

Zweck der Arbeit ist es, Informationen über die isolierte Wirbelkörperendplatte zu erhalten. Dies soll mit Hilfe röntgenologischer Bestimmungen der Dichteverhältnisse (Ca-Dichte) an Aufnahmen im vertikalen Strahlengang erreicht werden. Schon bestehende Meßeinrichtungen und Auswertungskonzepte waren hierfür nicht verfügbar, sondern mußten entsprechend ausgearbeitet und erstellt werden.

Um eine vergleichende, objektivierbare Aussage über die tatsächliche Dichte bzw. Knochenmasse aller Präparate zu erhalten, war es nötig, ein Vergleichsobjekt, dessen Verschattungsabstufungen nachher im Röntgenbild mit denjenigen der Präparate verglichen werden konnten, zusammen mit diesen zu durchstrahlen und auf demselben Film abzubilden. Dieses Vergleichsobjekt wurde aufgrund folgender Überlegungen erstellt:

Die Verschattungen, welche die Knochensubstanz im Röntgenbild erzeugt, werden zu einem großen Teil von anorganischem Material, insbesondere dem Calcium hervorgerufen. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, Calciummengen in geeigneten Abstufungen radiologisch mit den verschiedenen Dichtestrukturen der Präparate zu vergleichen (Densitometrie). Um die Verschattungsunterschiede der Röntgenbilder exakt zu erfassen, wurden diese photome-

1) Die Beratung auf radiologischer Seite übernahm freundlicherweise Herr Dr. Piroth, Institut für Strahlenkunde, Johannes Gutenberg Universität, Mainz.

trisch ausgewertet, was zur Voraussetzung hatte, daß unter Bedingungen geröntgt werden mußte, die bei der Auswertung die Anwendung des Lambert-Beerschen Gesetzes zuließen. Das Lambert-Beersche Gesetz besagt, daß die Extinktion eines Stoffes proportional ist seiner Konzentration, der durchstrahlten Schichtdicke und seinem Extinktionskoeffizienten:

$$E = L_0 \cdot e^{cd}$$

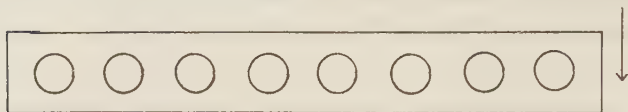
Im Versuch wurde der Extinktionskoeffizient des Knochens näherungsweise gleich dem Extinktionskoeffizienten des Calciums gesetzt. Um jeweils die gleiche Schichtdicke zu durchstrahlen, wurden die Präparate mit dem Vergleichsobjekt zum Röntgen in eine geeignete Wanne mit destilliertem Wasser gelegt, so daß die unterschiedlichen Calciumkonzentrationen in einer definierten Schichtdicke verteilt waren. Auf diese Weise können im Röntgenbild unter Anwendung des Lambert-Beerschen Gesetzes die Verschattungen des Knochens - zu einem großen Teil hervorgerufen durch Calcium unbekannter Menge und Konzentration - mit den Verschattungen bekannter Calciummengen verglichen werden. Damit wird die Dichte, die Masse und die Mineralisierung des Knochens objektiv erfaßbar und vergleichbar.

Als Calciumvergleichsobjekte dienten Calciumchloridlösungen geeigneter Konzentrationen, die in einen speziell hergestellten Kunststoffbehälter gefüllt wurden. Da Präparate und Vergleichstreppe in destilliertem Wasser geröntgt werden sollten, wurde dazu ein Kunststoffmaterial verwandt, welches unter der Röntgenbestrahlung ein möglichst wasserähnliches Verhalten zeigte. Aus Polyester-Gießharz wurde ein Quader gegossen und nach Erhärten planparallel auf 11,0 cm x 8,0 cm x 1,5 cm gefräst. Anschließend wurden 8 horizontale Bohrungen von 0,8 cm Durchmesser exakt in einer Ebene angebracht, so daß im vertikalen Strahlengang jeweils in der Mitte eines Bohrlochs und sonst an einander entsprechenden Stellen der gleiche Massenanteil Kunststoff durchstrahlt wird.

Abb. 25:

Vergleichstreppe im Längsschnitt

Strahlengang



Dieser so vorbereitete Block aus Gießharz wurde nun mit 8 Calciumchloridlösungen steigender Konzentrationen (5 g%, 10 g%, 15 g%, 20 g%, 25 g%, 30 g%, 35 g%, 40 g%) gefüllt und abgedichtet, so daß jegliche Diffusion im Wasserbad ausgeschlossen war.

2.2.3.2. Aufnahmetechnik

Zunächst wurde versucht, die Präparate mit der konventionellen, in der Klinik gebräuchlichen Röntgentechnik darzustellen. Da die zu durchstrahlende Masse der Wirbelkörperendplatten gering war, auch die feineren Details und Unterschiede ihrer Strukturierung dargestellt und die Röntgenbilder später photometrisch ausgewertet werden sollten, wurde die Belichtung unter Berücksichtigung folgender Kriterien ermittelt:

1. Die KV-Zahl mußte so niedrig gewählt werden, daß entsprechend massenarme Anteile ausreichend Strahlung absorbieren konnten, um gerade noch abgebildet bzw. nicht völlig durchstrahlt zu werden.
2. Die Strahlung mußte hart genug sein, um auch die dichteren Anteile im Präparat noch zu durchdringen.
3. Um später bei den photometrischen Messungen möglichst in einem linearen Bereich zu arbeiten, mußten die Präparate im mittleren Schwärzungsbereich des Röntgenfilms abgebildet werden.

Diese mit Hilfe des in der Klinik vorhandenen Röntengeräts (Müller DA 1000) gewonnenen Bilder genügten in ihrer Qualität jedoch nicht den für die spätere photometrische Auswertung geforderten Ansprüchen. Bei dem verwendeten Apparat lag die untere Kilovolt-Grenze bei 35 KV. Diese Strahlung erwies sich jedoch infolge der geringen Schichtdicken und Massenanteile der meisten Präparate als noch zu hart. Deshalb wurde versucht, die Präparate auf einem speziellen Röntgengerät bei niedrigeren KV-Zahlen abzubilden. Dies gelang optimal auf einem Mammographiegerät¹⁾ mit den dazugehörigen Filmen (Kodak Definix Medical) bei 25 KV, 1,8 sec und 50 cm Röhrenabstand.

Zum Röntgen der Präparate wurde eine wasserdichte Wanne konstruiert, deren Boden so beschaffen sein mußte, daß er möglichst keine Strahlung absorbierte. Dies wurde erreicht, indem ein Holzrahmen (Innenabmessungen 20,0 cm x 10,0 cm x 3,0 cm) mit einer dünnen Kunststoffolie bespannt wurde. In diesen Behälter wurde das jeweilige Präparat mit der mit Kontrastflüssigkeiten gefüllten Vergleichstreppe gelegt. Anschließend wurde so weit mit destilliertem Wasser aufgefüllt, bis die Wassersäule auf horizontaler Unterlage 16,0 mm betrug (Markierung). Nachdem der Röntgentisch des Mammographiegerätes ebenfalls exakt horizontal ausgerichtet worden war, wurde der Behälter auf den Röntgenfilm gestellt und bei 25 KV und 1,8 sec belichtet. Vor der Aufnahme wurde noch auf die richtige Lage des Präparates und der Calciumverdünnungsreihe in der Wanne geachtet. Wie Abb. 27 veranschaulicht, mußte wegen der photometrischen Auswertung über dem Bild von Präparat und Verdünnungsreihe ein belichteter Filmstreifen liegen, der für die Referenzmessung nur die Verschattung der Wassersäule aufwies.

¹⁾ Diese Aufnahmen wurden mit freundlicher Genehmigung im Institut für Strahlenkunde, Johannes Gutenberg Universität, Mainz hergestellt.

Abb. 27:

Lage von Präparat und Verdünnungsreihe

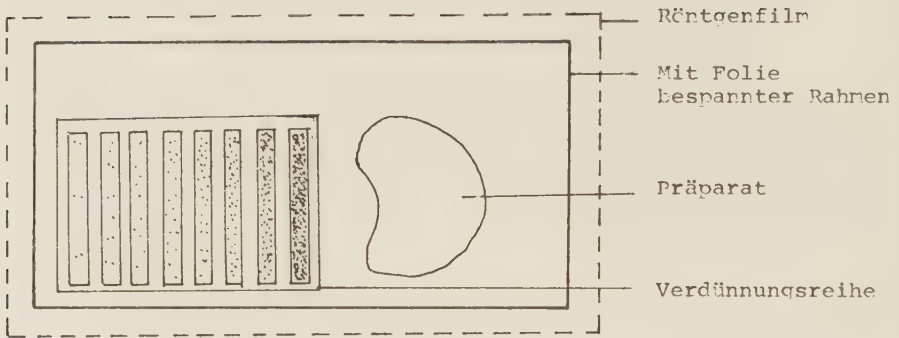
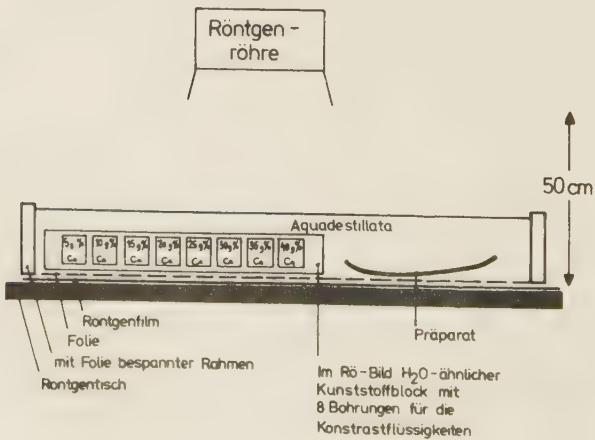


Abb. 28:

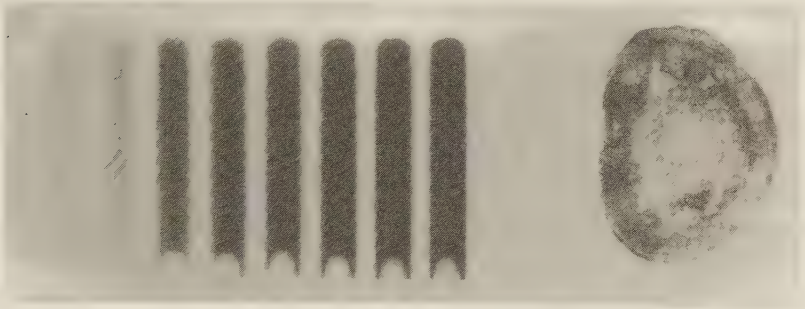
Das Röntgen der Präparate



Nach 3 1/2 Minuten langem Entwickeln im Automaten entstand
- hier als Beispiel die Schlußplatte des Präparats Nr. 3
(Abb. 29) - folgendes Röntgenbild:

Abb. 29:

Das fertige Röntgenbild



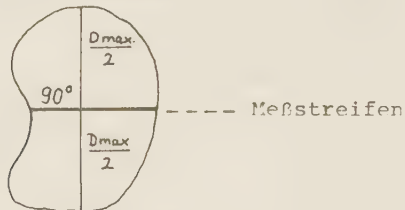
2.2.3.3. Technik der Auswertung

Nach näherer Untersuchung und Beschreibung der erstellten Röntgenbilder ergaben sich keine Informationen und Merkmale, die über den makroskopisch-morphologischen Bereich hinausgingen. Aus diesem Grunde erübrigte sich eine direkte Befundung der Gesamtaufnahme. Stattdessen wurde stellvertretend für das Gesamtbild bei 40facher Vergrößerung ein schmaler Streifen der Endplatte in sagittaler Richtung mit Hilfe densitometrisch-mikromorphometrischer Methoden genauer in Augenschein genommen. Der Meßstreifen wurde senkrecht durch die Mitte des maximalen Durchmessers der Endplatte gelegt. Auf diese Weise repräsentiert er folgende makroskopisch-morphologische Areale: die ventrale Randleiste, die Lamina cribrosa und die dorsale Randleiste. Siehe dazu Abb. 30.

Abb. 30:

Lage des untersuchten Bezirks

max. Durchmesser



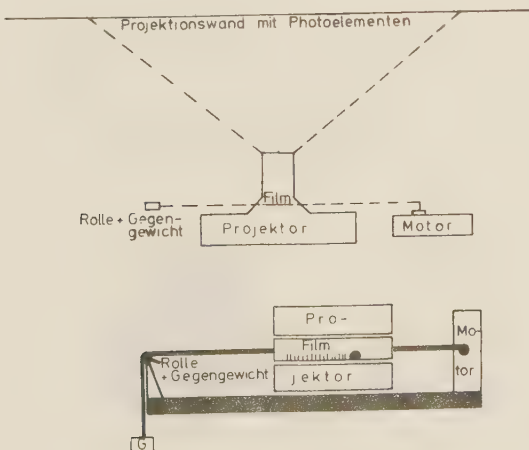
Zum Auswerten wurde das Röntgenbild, wie Abb. 31 zeigt, auf einen 36 mm breiten Filmstreifen so parallel zur Meßstrecke zurechtgeschnitten, daß über dem Bild von Präparat und Verdünnungsreihe ein 8 mm breiter Referenzstreifen lag, der nur die Verschattung der 16 mm hohen Wassersäule aufwies.

Abb. 31:



Dieser Filmstreifen wurde mit konstanter Geschwindigkeit durch die Bühne eines lichtstarken Diaprojektors (500-Watt-Birne) gezogen und damit bei 40facher Vergrößerung auf 2 Photozellen projiziert. Dabei waren die beiden Photoelemente so angeordnet, daß das eine im Projektionsfeld der Meßstrecke und das andere im Projektionsfeld des Referenzbereiches lag. Um ein gleichmäßiges und ruckloses Gleiten des Filmes durch den Projektor zu gewährleisten, wurde dieser in ein Zugsystem integriert, das auf der einen Seite mit einem Elektromotor und auf der anderen Seite über eine Rolle mit einem Gegengewicht verbunden war. Die Versuchsanordnung veranschaulicht Abb. 32.

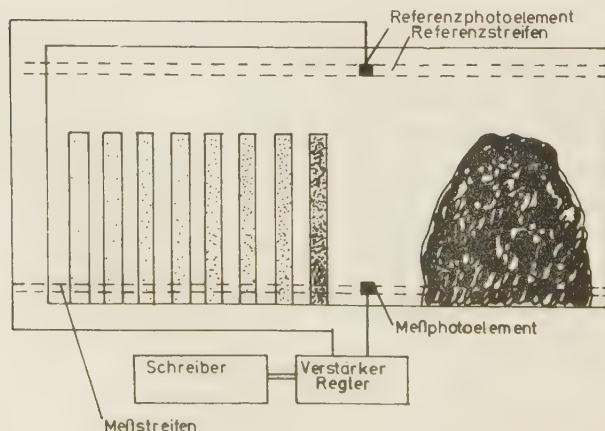
Abb. 32:



Die beiden Photozellen waren über einen regelbaren Differenzverstärker an einen Zweikanalschreiber angeschlossen. Diese Anordnung wurde nun auf das jeweils zu untersuchende Röntgenbild so eingeeicht, daß sich der Stift des Schreibers an der dunkelsten Stelle des Filmes auf der Nulllinie befand. Dabei standen beide Photozellen in einem Bereich, der nur von der Wassersäule verschattet war. Nun wurde die hellste Stelle des Präparatbildes auf die Meßphotozelle projiziert - das andere Photoelement lag während der gesamten Messung im Bild des Referenzbereiches - und die Verstärkung so weit hochgedreht, bis der Schreibstift die maximale Amplitude zeigte. Auf diese Weise wurde die Anordnung auf den individuellen Dichtebereich des Präparats abgestimmt. Nach dieser Eichung wurde zuerst die festgelegte Meßstrecke und sodann der Bildanteil der Verdünnungsreihe, der im benötigten Verschattungsintervall lag, durch die Anordnung gezogen. Dabei wurden die verschiedenen Helligkeitsabstufungen von Präparat und Vergleichsstrepe über Meß- bzw. Referenzphotoelement mit dem konstanten Lichtsignal des Referenzbereiches verglichen. Die jeweils sich ergebenden Amplituden des Schreibstifts wurden während der Messung in Form einer Kurve (s. Abb. 34) festgehalten.

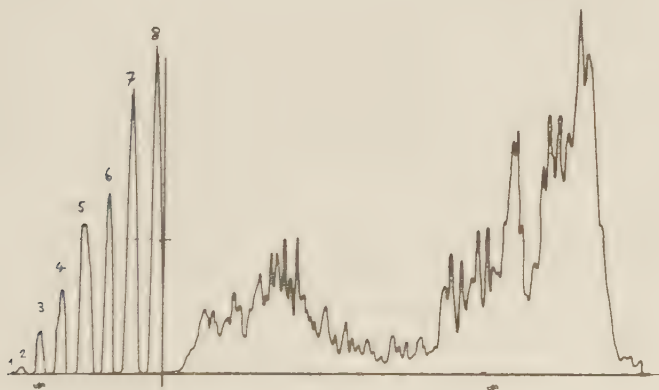
Abb. 33:

Anordnung zum Auswerten der Röntgenbilder



Da bei allen Präparaten dasselbe Vergleichsobjekt benutzt wurde, blieben die Meßergebnisse der untersuchten Endplatten trotz individueller Verstärkung objektiv untereinander vergleichbar.

Abb. 34:

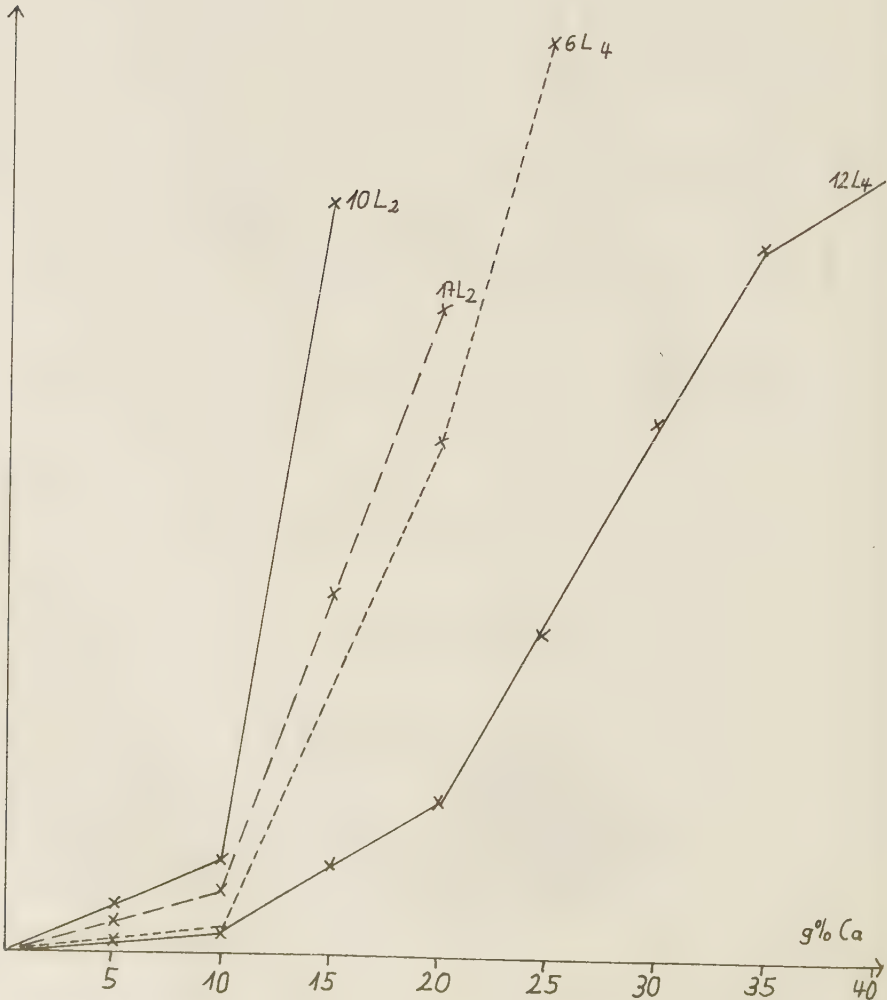


2.2.3.4. Kriterien für die Auswertung der Densitometerkurven

Die Objektivierung der Meßergebnisse wurde durch einen Amplitudenvergleich der Kurven von Präparat und Verdünnungsreihe ermöglicht. Als Bezugsgrößen dafür dienten jeweils die Kurvenmaxima der Verdünnungsreihe, deren Betrag der Verschattungsgröße einer genau definierten Calciumchloridmenge entspricht. Vergleichseinheit ist deshalb der Schwächungsgleichwert g_{Ca} . Jeder Punkt der Präparatskurve kann einer entsprechenden Amplitude auf der Kurve der CaCl-Treppe und diese wiederum der zugehörigen CaCl-Konzentration zugeordnet werden. Dies bedeutet, daß der Knochen an dieser Stelle eine Dichte aufweist, die im Röntgenbild die gleiche Verschattung wie die angegebene Calciumchloridmenge hervorruft. Dieser Schwächungsgleichwert entspricht annähernd dem

tatsächlichen Calciumgehalt an dieser Stelle. Um die Werte abzulesen, wurde die Amplitudenhöhe der jeweiligen Verdünnungsreihe graphisch gegen die zugehörige Calciumkonzentration aufgetragen und die sich ergebenden Punkte zu einer Eichkurve verbunden. Abb. 35 zeigt einige Eichkurven in verschiedenen Verstärkungsbereichen.

Abb. 35:



Wie aus Abb. 35 ersichtlich, verläuft diese Eichkurve im mittleren Meßbereich (10 - 35 g% Ca) näherungsweise linear, d.h. geringe Konzentrationsunterschiede ergeben große Amplituden. Im unteren (0 - 10 g% Ca) und oberen (35 - 40 g% Ca) Meßbereich verläuft die Eichkurve flacher, d.h. relativ große Dichteunterschiede ergeben nur kleine Amplituden. Aus dieser Eichkurve konnte nun nach Übertragung der Amplitudenhöhe des jeweiligen Meßpunktes der Präparatskurve die zugehörige Calciumkonzentration abgelesen werden. Für das Abmessen der Amplitudenhöhe wurde ein Meßstab aus einem Papierstreifen angefertigt. Hierbei wurden mit Hilfe eines Zirkels die jeweils zu den definierten CaCl_2 -Konzentrationen gehörigen Amplitudenhöhen aus den Eichkurven übertragen. Mit diesem Übertragungsmaßstab war es möglich, direkt aus der Präparatskurve für die entsprechende Amplitudenhöhe die Calciumkonzentration abzulesen. Wegen der unterschiedlichen Verstärkung, die zur besseren Erfassung der einzelnen Präparate notwendig war, mußte die Eichkurve für jedes Präparat neu erstellt werden.

Folgende Bewertungsmerkmale konnten aus den Densitometerkurven abgelesen werden:

1. Knochendichte
2. Anisotropie
3. Randleistenmineralisierung

1. Merkmal Knochendichte

Die Höhe der Amplitude in einem bestimmten Meßpunkt ist Ausdruck für die Knochendichte in diesem Punkt, wobei jedes Maximum eine Zone größter Dichte - in günstigen Fällen als Folge der gewählten Vergrößerung ein Knochenbälkchen - und jedes Minimum eine Zone geringer Dichte - im extremen Fall eine Pore - darstellt. Die Auswertung bestand in einem objektiven Vergleich der Größe der einzelnen Massenteile, und zwar

- a) über das gesamte Profil (Mittelwert sämtlicher Maxima), was gewissermaßen als Gesamteindruck die mittlere Dichte der Endplatte vermittelt;
- b) getrennt für dorsale, ventrale Randleiste und Lamina (dabei wurden jeweils die Mittelwerte und die Extremwerte für die einzelnen Bezirke angegeben);
- c) der Dichteunterschiede zwischen Randleiste und Lamina cribrosa. Dafür wurde der Mittelwert der Dichten aus ventraler und dorsaler Randleiste gebildet und die Differenz zur mittleren Dichte der Lamina errechnet.

Die Werte wurden mit dem zum Präparat gehörigen Übertragungsmaßstab in g% Ca abgelesen und in Tabellen festgehalten.

2. Merkmal Anisotropie

Als Ausdruck für die radiologische Anisotropie in einem bestimmten Bereich wurde die Differenz von Maximum zu Minimum gewertet. Ist diese groß, so wechseln dichte Bezirke mit weniger dichten, im Extremfall Knochenbälkchen mit Poren. Ist diese klein, so hält das Präparat ein bestimmtes Dichteniveau, ist also homogen. Dabei ist zu bedenken, daß die Endplatte trotz der geringen Schichtdicke ein dreidimensionales Gebilde darstellt, die radiologische Anisotropie also keinesfalls identisch mit der im makroskopisch-morphologischen Teil bewerteten Porengröße der Laminae sein kann. Die Anisotropie (mittlere Amplitude der Calciumdichte) wurde ermittelt:

- a) über das gesamte Profil (der Mittelwert sämtlicher Differenzen von Maxima zu Minima);

- b) getrennt für dorsale, ventrale Randleiste und Lamina (jeweils die Mittelwerte der Differenzen der einzelnen Bezirke).

Um bei der Bestimmung des Betrags das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurde der Übergang Randleiste - Lamina, der sich in den meisten Fällen als deutlicher Dichteunterschied manifestiert, nicht berücksichtigt. Die Differenzbeträge wurden mit dem jeweiligen Übertragungsmaßstab abgelesen und in g% Ca angegeben.

Aus diesen Einzelwerten wurden die benötigten Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen berechnet.

3. Merkmal Randleistenmineralisierung

Um einen Eindruck vom Mineralisierungsgrad der Randleiste zu vermitteln, wurde zusätzlich im Meßbereich des Präparats mit dem Dickenmeßgerät die tatsächliche maximale Schichtdicke der dorsalen und der ventralen Randleiste (auf 1/10 mm genau) bestimmt. Durch diesen Wert wurde der densitometrisch ermittelte maximale Schwächungswert des entsprechenden Bezirks dividiert. Dadurch konnte der Mineralgehalt pro mm Randleistenstärke angegeben werden, also g% Ca pro mm Schichtdicke der Endplatte. Die Randleistenmineralisierung wurde näherungsweise als Mittelwert dieser beiden Einzelwerte angegeben.

3. Ergebnisse

3.1. Vorbemerkung

Die nach den beschriebenen Methoden gewonnenen Ergebnisse sind im folgenden nach Einzelmerkmalen aufgeschlüsselt für Grund- und Deckplatten getrennt in Tabellen (Tab. 6-17) zusammengestellt.

Die jeweils den Tabellen folgenden Häufigkeitsverteilungen (Abb. 36-49) sollen das Verhalten des Gesamtkollektivs verdeutlichen und mögliche Unterschiede zwischen Grund- und Deckplatten aufzeigen.

Eine statistische Absicherung ist wegen der geringen Fallzahl sowie der Vielfalt der Einzelmerkmale nicht möglich. Etwaige Tendenzen können jedoch aus den Abbildungen ersehen werden. Um diese deutlicher zu machen, wurden im Abschnitt Korrelation der Daten Regressionsberechnungen angefertigt und die jeweils zugehörigen Geraden in die Graphiken eingezeichnet (Abb. 50-56).

3.2. Makromorphologische Befunde

3.2.1. Merkmal Osteophyten

Tab. 6:	Präparats- Nr.	Spondylosegrad	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	0	0
	2	2	0
	3	0	1
	4	0	0
	5	2	1
	6	0	0
	7	0	0
	8	1	1
	9	1	1
	10	1	0
	11	0	1
	12	3	2
	13	2	0
	14	1	2
	15	1	3
	16	3	3
	17	1	3
	18	3	1
	19	1	1
	20	1	2
	21	2	3
	22	0	0
	23	1	2
	24	1	2
	25	3	3
	26	2	2
	27	0	1
	28	1	0
	29	1	1
	30	0	0

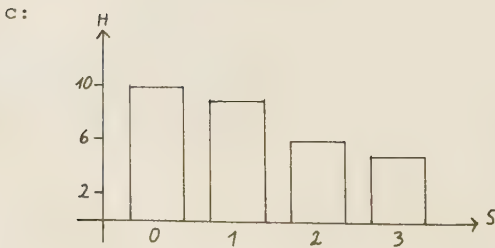
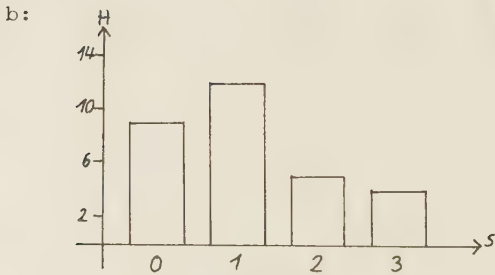
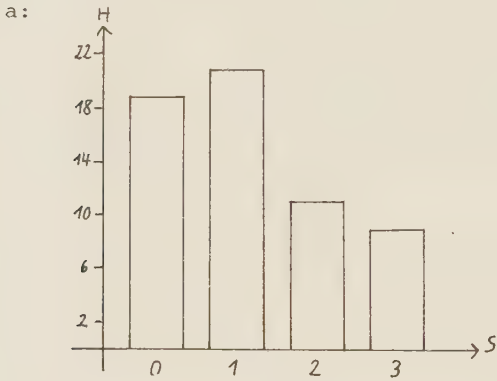
Die spondylotischen Veränderungen des
Sektionsgutes

Spondylosegrade:

- 0 : glatte Ränder
- 1 : geringe Unregelmäßigkeiten
- 2 : mittlere Unregelmäßigkeiten
- 3 : ausgeprägte Randwülste mit Spondylophyten

Abb. 36 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Osteophyten:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der
Grundplatten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Spondylosegrad (S)



3.2.2. Merkmal Randleistenbeschaffenheit

Tab. 7:	Präparats- Nr.	Randleistenbeschaffenheit	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	3 A a	1 A a
	2	3 B a	1 A a
	3	1 A a	1 A b
	4	1 3 A a b	1 A a
	5	2 3 B a b	3 B a b
	6	1 B a	1 A a
	7	3 B a	1 A a
	8	1 B a	1 A B a
	9	1 B b	2 A a b
	10	1 B b	1 B a
	11	1 B a	1 B a
	12	1 3 B a	1 A a
	13	3 B b	1 3 B a
	14	1 3 A a	1 A a b
	15	3 B b	1 A a
	16	3 B a	1 3 B a
	17	1 B a	2 A a
	18	1 B a b	1 A a
	19	3 B a b	1 A a
	20	1 A a	1 A a
	21	1 2 a b	1 2 B a
	22	1 B a	2 B a
	23	1 B a	1 B a b
	24	1 A a b	1 A a
	25	1 A b	1 A a b
	26	1 B a	1 B a
	27	3 B b	2 3 B b
	28	3 B b	1 A a
	29	1 B a b	1 A a
	30	1 A a	1 A B a

Die Randleistenbeschaffenheit (Breite, Verlauf, Struktur) der untersuchten Wirbelkörperendplatten.

Bewertungsgrade bzw. Symbole:

Breite:	Verlauf:	Struktur:
1: normal	A: gleichmäßig	a: Oberflächenstruktur geschlossen
2: schmal	B: ungleichmäßig	b: Oberflächenstruktur vorwiegend perforiert
3: breit		

Abb. 37 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Randleiste/Breite:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Randleistenbreite (Rb)

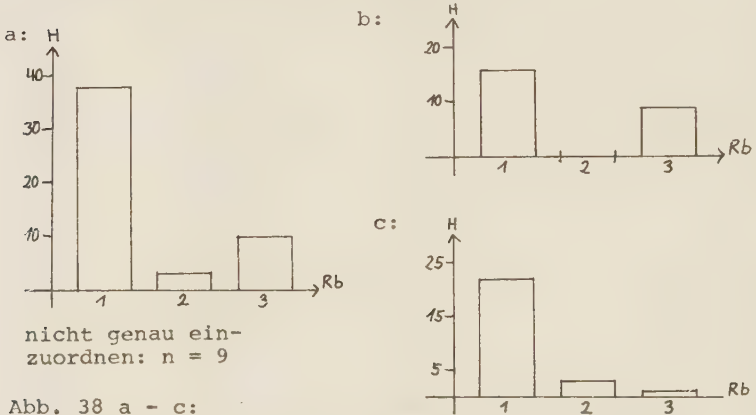
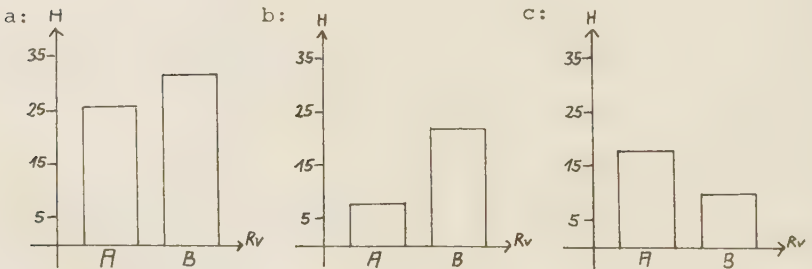


Abb. 38 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Randleiste/Verlauf:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Randleistenverlauf (Rv)



nicht genau ein-
zuordnen: n = 2

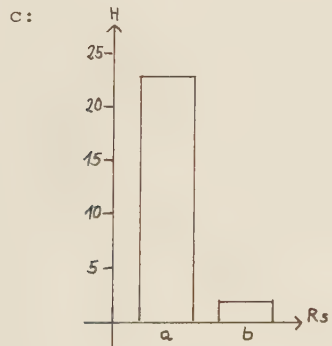
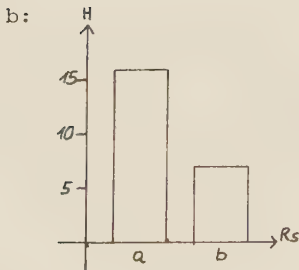
Abb. 39 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Randleiste/Struktur:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);

Häufigkeit (H), Randleistenstruktur (R_s)



nicht genau ein-
zuordnen: $n = 12$



3.2.3. Merkmal Randleistenübergang

Tab. 8:	Präparats- Nr	Randleistenübergang	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	1	1
	2	1	1
	3	1	2
	4	1	1
	5	2	1
	6	1	1
	7	1	1
	8	1	1 2
	9	2	2
	10	2	1
	11	1	1
	12	1 2	1
	13	1	1
	14	1	1
	15	2	1
	16	2	2
	17	1	1 2
	18	1 2	1
	19	2	1
	20	1	1
	21	1	1 2
	22	1	1
	23	1	1
	24	1	1
	25	1 2	1
	26	1	2
	27	1	1 2
	28	2	1
	29	2	1
	30	1	1

Ergebnisse der Beurteilung des Randleistenübergangs

Bewertungsgrad:

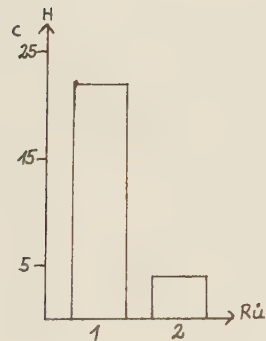
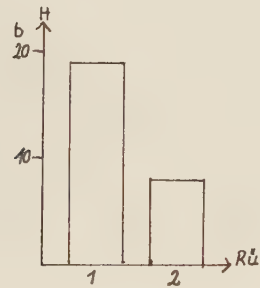
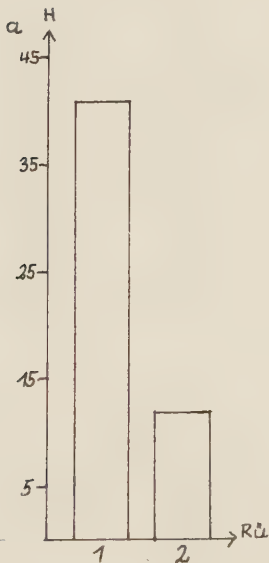
- 1 : scharfe Begrenzung, glatte Kontur
- 2 : unscharf

Abb. 40 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Randleisten-
übergang:

gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);

Häufigkeit (H), Randleistenübergang (Rü)



nicht genau einzuordnen: n = 7

3.2.4. Merkmal Lamina cribrosa

Tab. 9:	Präparats- Nr.	Lamina cribrosa	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	1	1
	2	1	1
	3	1	2
	4	2	1
	5	2	1
	6	2	2
	7	1	1
	8	1 4	2
	9	3	3
	10	2 4	3
	11	3	2
	12	1	4
	13	2	2
	14	2	3
	15	2 4	2 4
	16	1	2
	17	3	3
	18	2	2
	19	3 4	3
	20	2	2
	21	3	3
	22	1	2
	23	2	2
	24	2	2
	25	2	3
	26	3	1
	27	4	4
	28	4	3
	29	4	2
	30	3	4

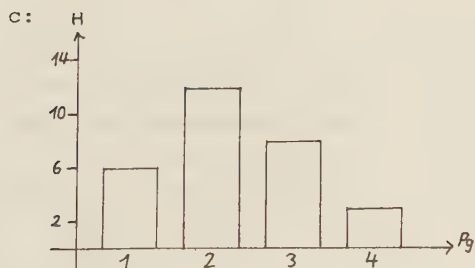
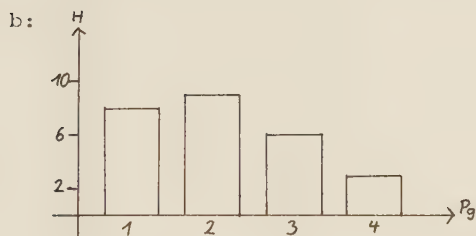
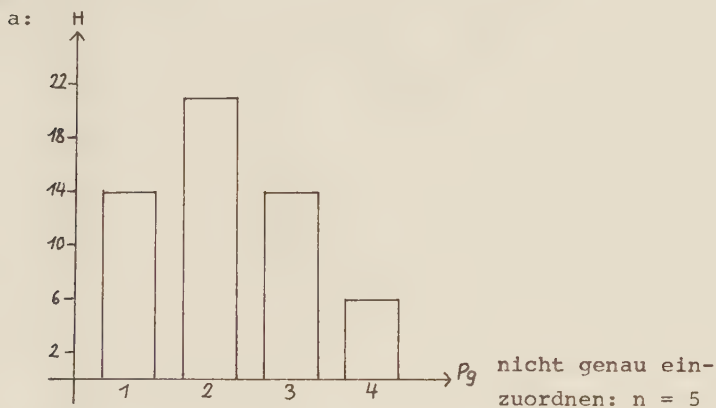
Die Beschaffenheit der Laminae cribrosae

Bewertungsgrade:

- 1 : feinporig dicht und regelmäßig
- 2 : wie 1, einige vergrößerte Poren
- 3 : mittelgroße Poren, kleinere Unregelmäßigkeiten
- 4 : große Poren, unregelmäßig aufgelockerte Bezirke

Abb. 41 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Lamina cribrosa:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Porengröße (P_g)



3.3. Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte

3.3.1. Merkmal absolute Konkavität

Tab. 10: Präparats- absolute Konkavität (mm)
Nr. Grundplatte Deckplatte

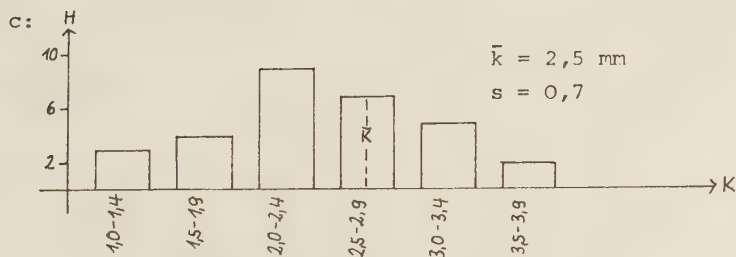
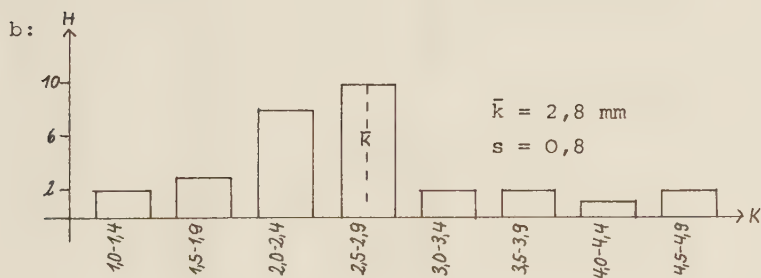
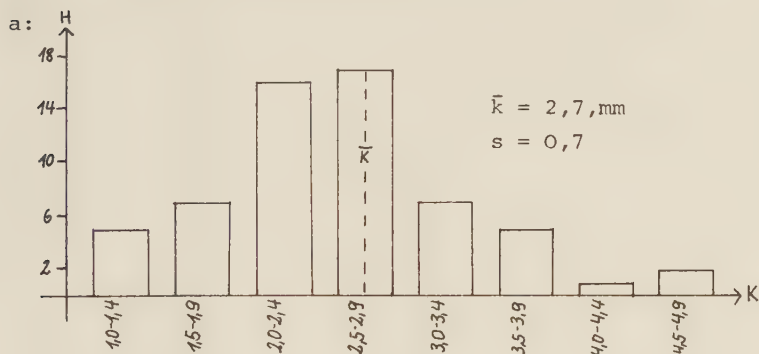
Nr.	Grundplatte	Deckplatte
1	2,2	1,2
2	2,2	1,2
3	2,6	3,0
4	3,0	2,5
5	3,8	3,9
6	2,4	3,2
7	2,5	1,2
8	3,5	3,0
9	2,8	2,0
10	3,1	3,4
11	2,7	2,7
12	3,0	2,6
13	2,4	2,5
14	2,0	2,3
15	3,0	2,5
16	2,0	2,5
17	2,4	1,8
18	1,5	2,1
19	2,7	3,5
20	3,0	2,2
21	4,0	3,1
22	4,2	3,6
23	4,6	3,4
24	2,6	2,5
25	4,7	2,7
26	1,7	2,0
27	3,0	3,0
28	2,3	1,8
29	1,4	2,5
30	2,5	2,6
$\bar{K}$	2,8	2,5
S	0,8	0,7

Die absolute Konkavität K (Ausmuldung)
der untersuchten Wirbelkörperendplatten
in Millimetern.

$\bar{K}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

Abb. 42 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Konkavität:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Konkavität (K)



3.3.2. Merkmal Konkavitätsquotient

Tab. 11: Präparats- Konkavitätsquotient (mm^{-1})
Nr. Grundplatte Deckplatte

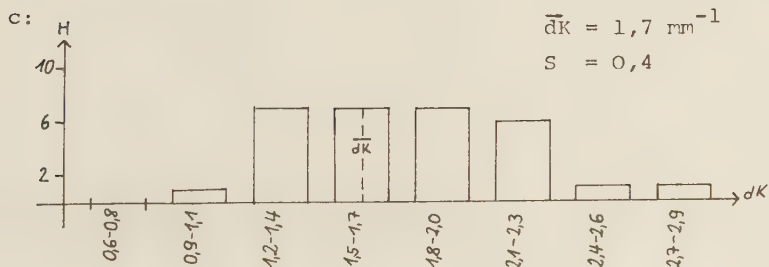
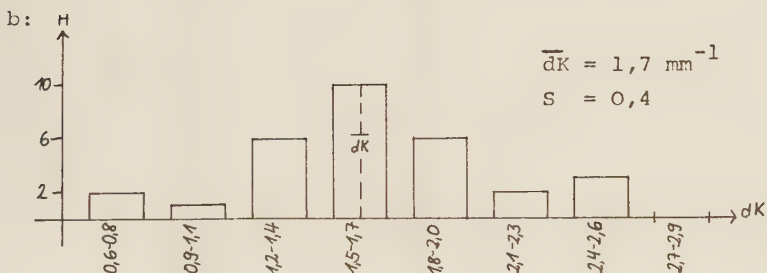
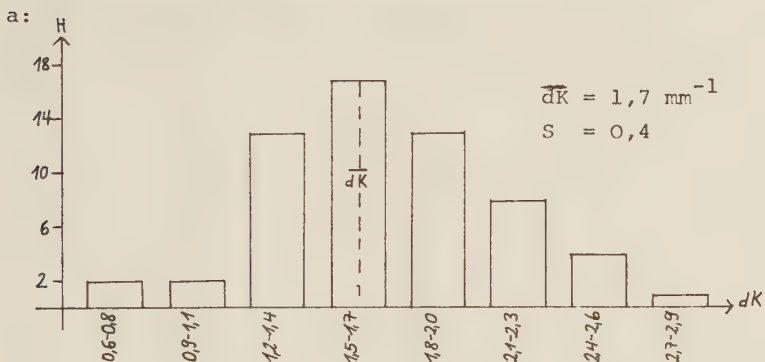
1	1,5	1,2
2	1,7	1,2
3	1,7	2,1
4	2,0	2,1
5	2,6	2,0
6	2,1	2,8
7	1,7	1,0
8	2,4	2,3
9	1,8	1,9
10	1,5	2,4
11	1,5	2,1
12	1,6	1,6
13	1,4	2,0
14	1,3	1,8
15	1,7	1,8
16	1,3	1,7
17	1,4	1,3
18	0,8	1,5
19	1,4	2,2
20	1,9	1,3
21	1,9	1,5
22	2,5	2,1
23	2,3	1,6
24	1,5	1,5
25	1,8	1,2
26	0,9	1,3
27	1,6	1,6
28	1,3	1,3
29	0,8	1,9
30	1,8	1,8
$\bar{dk}$	1,7	1,7
S	0,4	0,4

Die Konkavitätsquotienten dk der untersuchten Wirbelkörperendplatten, Einheit mm^{-1} .

$\bar{dk}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

Abb. 43 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Konkavitätsquotient:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Konkavitätsquotient (dK)



3.4. Radio-densitometrische Befunde

3.4.1. Merkmal Dichte der Gesamtprofile

Tab. 12: Präparats- Dichte Gesamtprofile (g% Ca)
Nr. Grundplatte Deckplatte

1	10,9	10,6
2	12,2	9,7
3	8,6	8,5
4	6,7	9,1
5	10,6	9,7
6	12,8	11,7
7	11,8	10,5
8	7,4	6,0
9	8,0	5,5
10	12,5	11,7
11	9,3	6,0
12	21,0	4,9
13	11,4	8,7
14	8,7	8,0
15	9,7	8,7
16	19,5	- ')
17	10,5	13,2
18	16,4	19,0
19	11,3	11,2
20	10,2	10,5
21	8,8	6,9
22	12,0	10,5
23	11,6	10,4
24	10,0	7,6
25	11,3	9,3
26	9,9	8,4
27	3,7	3,4
28	9,3	9,7
29	9,3	9,4
30	8,4	9,2
$\overline{D_g}$	10,8	9,2
S	3,4	2,9

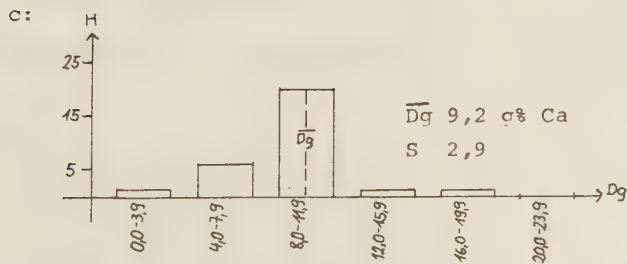
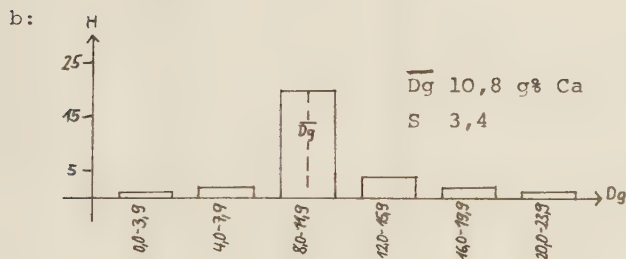
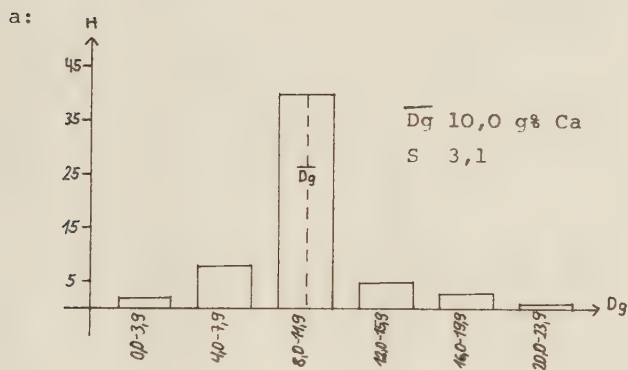
Die Dichte der Gesamtprofile D_g in g% Ca
(Schwächungsgleichwert).

$\overline{D_g}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

') Präparat infolge extremer Spondylose
nicht in diesem Meßbereich zu verwer-
ten.

Abb. 44 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Dichte Gesamtprofile:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Dichte Gesamtprofile (Dg)



3.4.2. Merkmal Dichte der Laminae

Tab. 13:	Präparats- Nr.	Dichte Laminae (g% Ca)	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	10,5	10,3
	2	10,8	6,4
	3	7,7	8,5
	4	4,2	8,3
	5	10,4	9,3
	6	11,3	9,4
	7	9,7	9,9
	8	5,4	4,5
	9	6,6	4,2
	10	11,9	11,0
	11	7,4	4,9
	12	21,0	3,9
	13	10,8	8,0
	14	7,8	7,6
	15	8,9	7,6
	16	16,0	18,6
	17	10,1	12,8
	18	13,6	17,8
	19	11,2	10,2
	20	10,0	10,0
	21	8,6	6,7
	22	10,8	10,0
	23	11,0	10,8
	24	8,6	6,3
	25	9,0	9,2
	26	7,3	6,4
	27	2,5	2,7
	28	8,4	9,3
	29	9,0	9,1
	30	7,6	8,7
	$\overline{D}_L$	9,6	8,7
	S	3,4	3,5

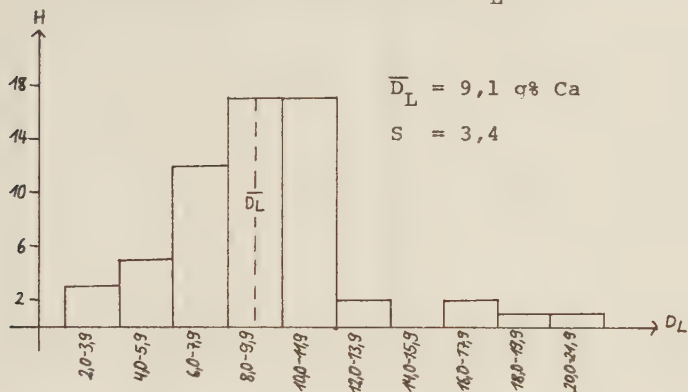
Die Dichte der Laminae cribrosae $\overline{D}_L$
in g% Ca (Schwächungsgleichwert)

$\overline{D}_L$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

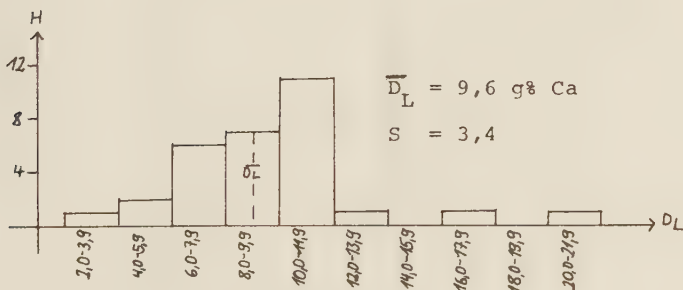
Abb. 45 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Dichte Laminae:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Dichte Laminae (D_L)

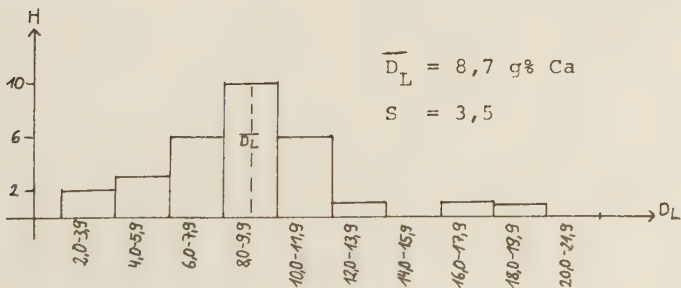
a:



b:



c:



3.4.3. Merkmal Dichtedifferenz Randleiste - Lamina

Tab. 14: Präparats- Dichtedifferenz Randl.-Lamina (g%Ca)
Nr. Grundplatte Deckplatte

1	-0,9	1,6
2	5,9	6,8
3	3,3	6,2
4	6,2	4,8
5	0,7	1,9
6	4,1	6,2
7	7,2	2,0
8	5,6	5,6
9	4,7	5,3
10	8,2	3,4
11	4,0	3,8
12	-0,4	6,2
13	0,9	0,9
14	4,8	3,0
15	2,1	4,3
16	12,2	30,0
17	2,3	0,8
18	9,9	8,2
19	0,3	3,3
20	0,9	2,3
21	1,7	2,2
22	2,6	1,4
23	1,2	0,8
24	3,0	4,6
25	4,7	0,4
26	3,2	4,0
27	5,2	2,7
28	3,3	0,9
29	1,7	1,9
30	2,7	3,6
$\overline{D D}$	3,7	4,3
S	3,0	5,3

Die Dichtedifferenz $\overline{D D}$ zwischen Randleisten und Laminae cribrosae in g% Ca (Schwächungs-
gleichwert)

$\overline{D D}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

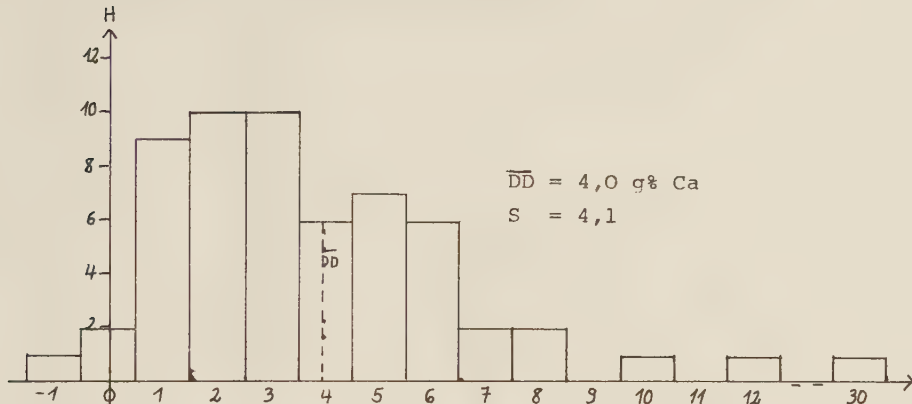
Abb. 46 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Dichtedifferenz
Randleiste - Laminae:

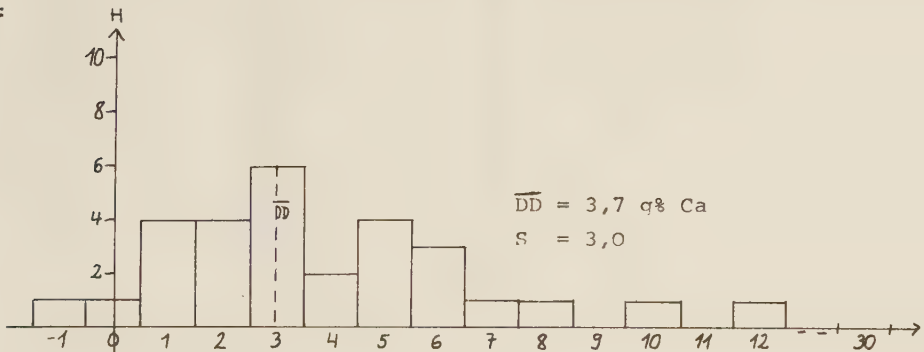
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);

Häufigkeit (H), Dichtedifferenz (DD)

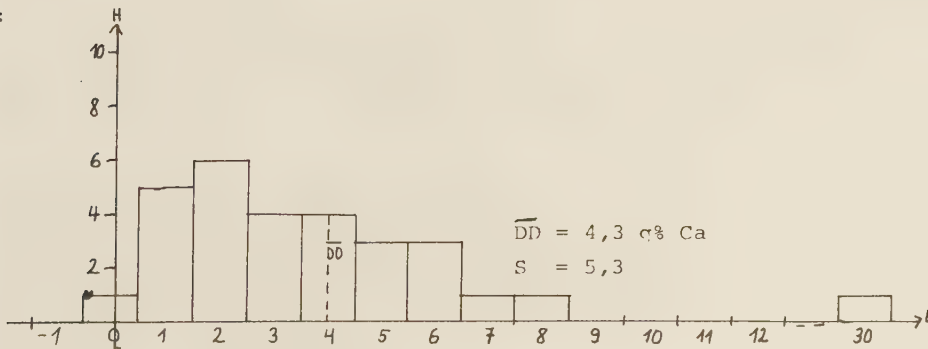
a:



b:



c:



3.4.4. Merkmal Anisotropie der Gesamtprofile

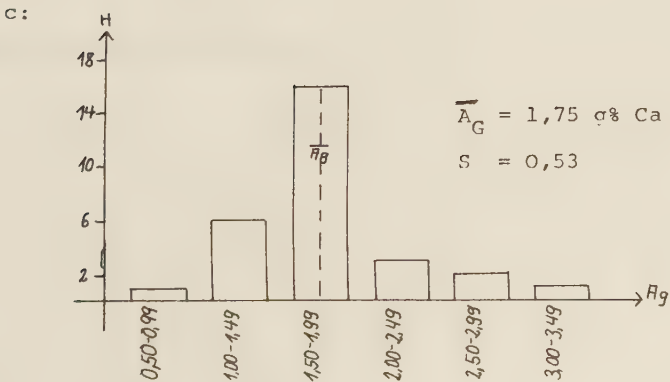
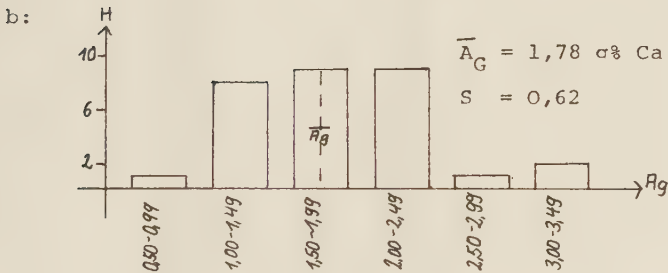
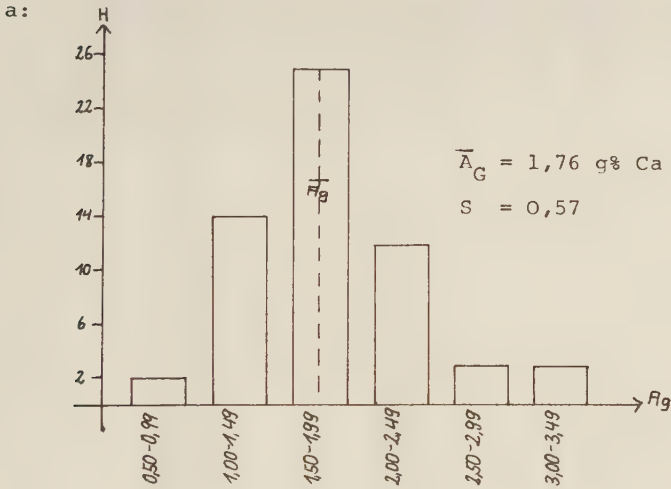
Tab. 15:	Präparats- Nr.	Anisotropie Grundplatte	Gesamtprofile (g% Ca) Deckplatte
	1	1,65	1,56
	2	2,15	1,15
	3	2,34	3,05
	4	1,58	1,55
	5	0,52	1,45
	6	1,12	1,24
	7	1,20	1,61
	8	1,30	1,65
	9	1,92	2,20
	10	2,26	0,65
	11	2,12	1,26
	12	3,42	1,72
	13	1,14	2,27
	14	1,67	2,91
	15	1,30	1,86
	16	3,00	- ')
	17	1,28	1,60
	18	2,52	2,50
	19	1,76	1,91
	20	1,58	1,72
	21	2,48	1,63
	22	2,30	1,08
	23	1,10	1,63
	24	1,54	1,94
	25	1,97	1,80
	26	1,62	1,98
	27	1,26	1,96
	28	2,25	1,10
	29	2,16	1,61
	30	2,16	2,42
	$\overline{Ag}$	1,78	1,75
	S	0,62	0,53

Die Anisotropie der Gesamtprofile $\overline{Ag}$
in g% Ca (Schwächungsgleichwert)

$\overline{Ag}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

') Präparat infolge extremer Spondylose
nicht in diesem Meßbereich zu verwer-
ten.

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Anisotropie
Gesamtprofile:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Anisotropie Gesamtprofile (Ag)



3.4.5. Merkmal Anisotropie der Laminae cribrosae

Tab. 16:	Präparats- Nr.	Anisotropie der Laminae cribrosae (g% Ca)	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	1,43	1,56
	2	1,29	1,05
	3	2,72	2,75
	4	1,74	3,00
	5	0,53	1,30
	6	0,83	1,49
	7	1,16	2,10
	8	1,51	1,52
	9	1,80	2,20
	10	2,37	0,46
	11	3,03	1,30
	12	3,70	1,48
	13	1,02	2,71
	14	1,75	2,88
	15	1,64	2,00
	16	2,95	3,45
	17	1,29	1,42
	18	1,82	2,60
	19	1,62	2,10
	20	1,30	1,60
	21	2,40	1,68
	22	2,56	1,16
	23	1,12	0,96
	24	1,76	2,07
	25	2,08	1,65
	26	1,78	2,32
	27	1,16	1,51
	28	2,18	0,79
	29	1,56	1,50
	30	2,19	2,30
	$\bar{A}_L$	1,85	1,82
	S	0,70	0,70

Die Anisotropie der Laminae cribrosae

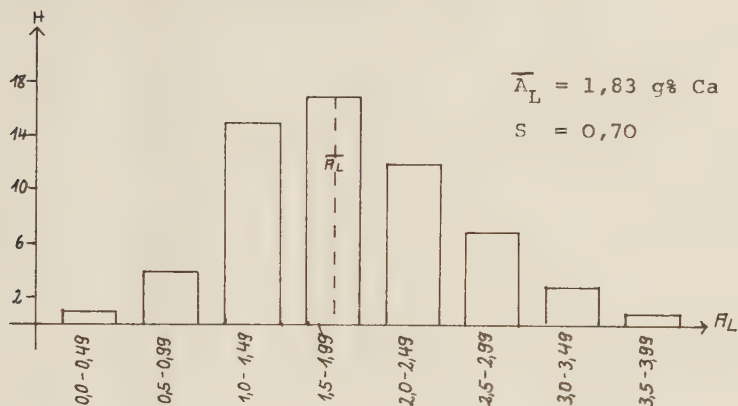
A_L in g% Ca

$\bar{A}_L$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

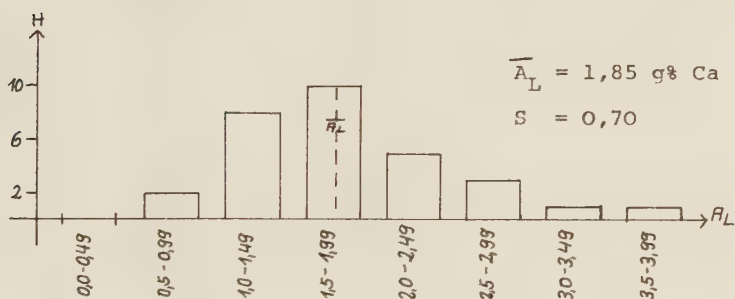
Abb. 48 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Anisotropie Laminae:
gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);
Häufigkeit (H), Anisotropie Laminae (A_L)

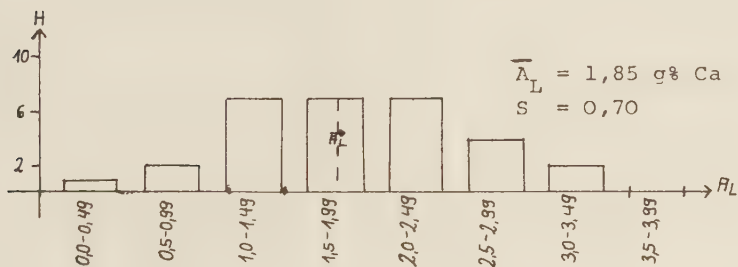
a:



b:



c:



3.4.6. Merkmal Randleistenmineralisierung

Tab. 17:	Präparats- Nr.	Randleistenmineralisierung (g% Ca/mm)	
		Grundplatte	Deckplatte
	1	10,0	12,3
	2	16,1	15,7
	3	11,6	10,7
	4	14,0	9,1
	5	8,6	12,0
	6	11,1	8,9
	7	10,0	10,4
	8	9,7	7,7
	9	12,5	7,3
	10	14,1	10,6
	11	12,1	9,2
	12	10,3	20,3
	13	12,1	18,7
	14	11,3	15,7
	15	12,8	16,4
	16	11,9	12,0
	17	17,2	16,2
	18	23,0	23,0
	19	7,8	20,0
	20	14,3	16,2
	21	10,4	8,5
	22	14,9	23,0
	23	14,0	17,3
	24	10,9	16,8
	25	13,1	12,7
	26	10,9	11,9
	27	14,4	12,5
	28	10,4	18,5
	29	15,0	11,5
	30	12,3	8,5
	$\bar{M}$	12,6	13,4
	S	2,9	4,4

Die Randleistenmineralisierung M der untersuchten Wirbelkörperendplatten in g% Ca pro mm.

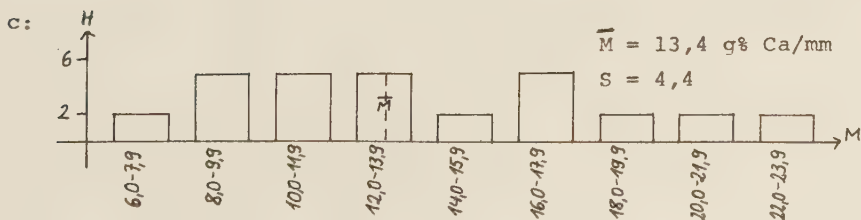
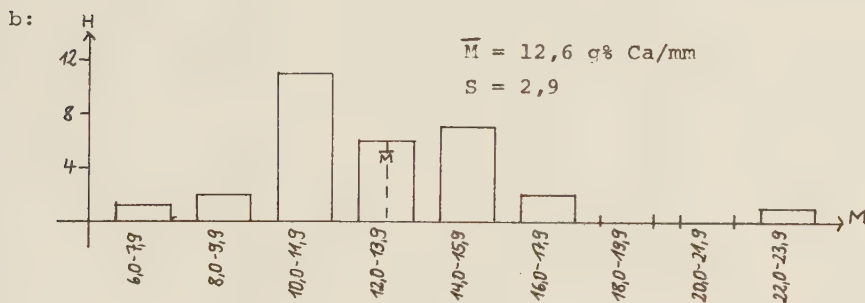
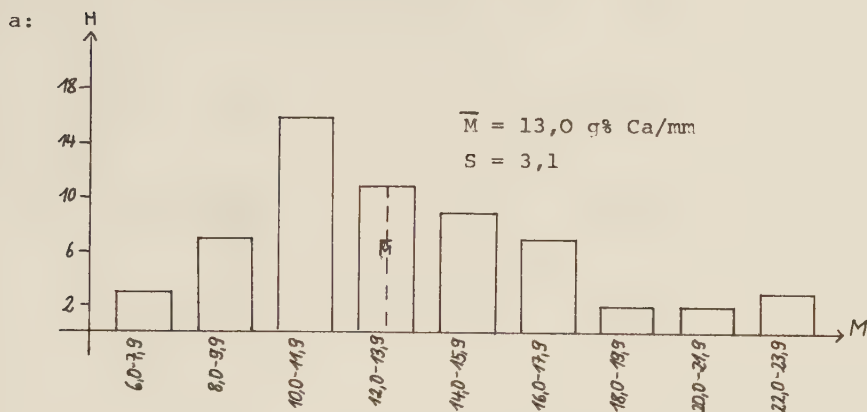
$\bar{M}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

Abb. 49 a - c:

Häufigkeitsverteilung des Merkmals Randleisten-
mineralisierung:

gemeinsame (a) und getrennte Darstellung der Grund-
platten (b) und der Deckplatten (c);

Häufigkeit (H), Mineralisierung (M)



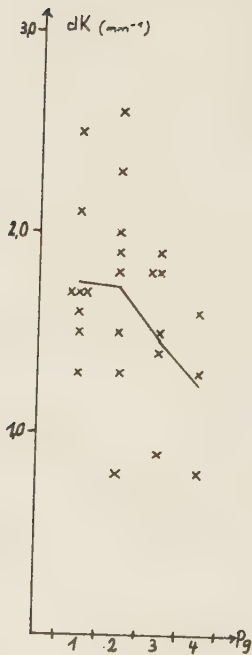
3.5. Korrelation

3.5.1. Korrelation der morphologischen Daten untereinander

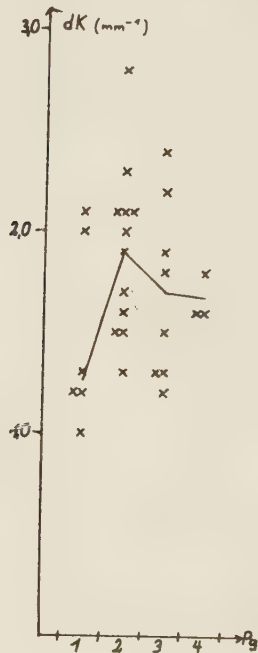
Abb. 50: Der Konkavitätsquotient dk in Abhängigkeit von der Porengröße P_g :

(a) für Grundplatten und (b) für Deckplatten

a:



b:



3.5.2. Korrelation der radiologischen Dater untereinander

Abb. 51: Die Dichte der Gesamtprofile D_g in Abhängigkeit von der Anisotropie der Gesamtprofile A_g :

(a) für Grundplatten ($R = 0,04$) und

(b) für Deckplatten ($R = 0,06$)

a:

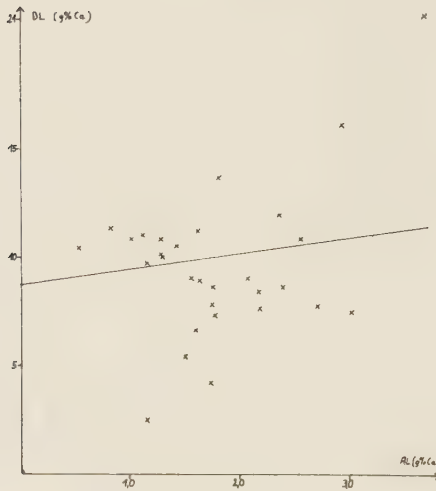


b:



Abb. 52: Die Dichte der Laminae D_L in Abhängigkeit von der Anisotropie der Laminae A_L :
(a) für Grundplatten ($R = 0,27$) und
(b) für Deckplatten ($R = 0,28$)

a:



b:

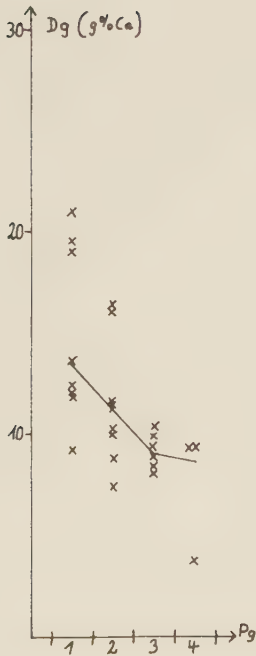


3.5.3. Korrelation der morphologischen und radiologischen Daten

Abb. 53: Die Dichte der Gesamtprofile D_g in Abhängigkeit von der Porengröße P_g :

(a) für Grundplatte und (b) für Deckplatten

a:



b:

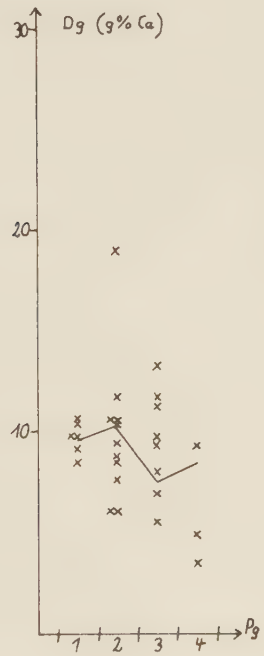


Abb. 54: Die Dichte der Gesamtprofile D_g in Abhängigkeit vom Konkavitätsquotienten dk :

(a) für Grundplatten ($R = -0,2$) und

(b) für Deckplatten ($R = -0,1$)

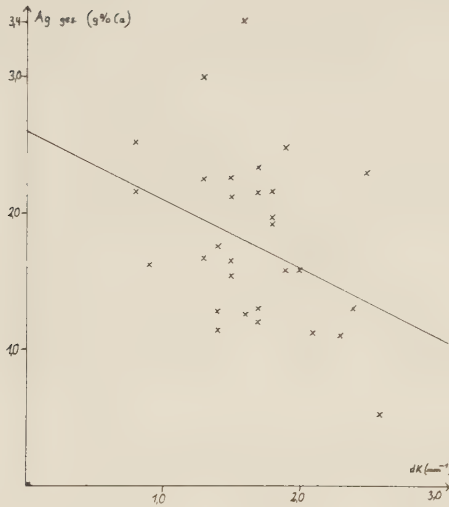


b:



Abb. 55: Die Anisotropie der Gesamtprofile A_g in Abhängigkeit vom Konkavitätsquotienten dk :
 (a) für Grundplatten ($R = 0,36$) und
 (b) für Deckplatten ($R = 0,075$)

a:



b:

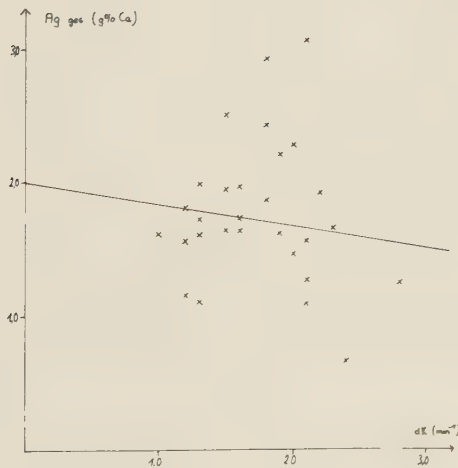
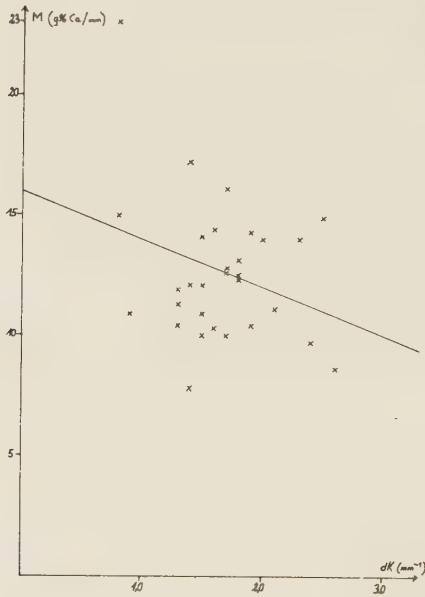


Abb. 56: Die Randleistenmineralisierung M in Abhängigkeit vom Konkavitätsquotienten dk :

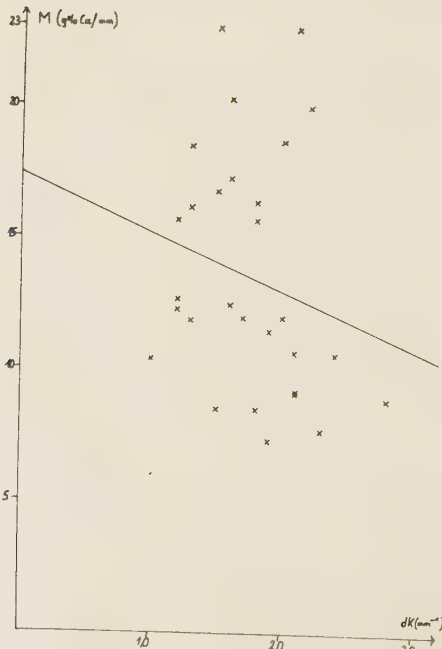
(a) für Grundplatten ($R = 0,31$) und

(b) für Deckplatten ($R = 0,23$)

a:



b:



4. Diskussion

Zu erörtern sind zunächst die tabellarisch erfaßten Einzelwerte und Häufigkeitsverteilungen aller Merkmale. Hierbei ist jeweils zu prüfen, ob die getrennt aufgeführten Daten der Grundplatten und der Deckplatten einen signifikanten Unterschied aufweisen oder nicht. Die Folgerung aus dem Fehlen eines signifikanten Unterschiedes besteht in der Möglichkeit, das Gesamtkollektiv zur besseren statistischen Absicherung unaufgegliedert auszuwerten. Erst daran anschließend sollen die Korrelationsergebnisse besprochen werden. Abschließend erfolgt entsprechend der Aufgabenstellung eine kritische Wertung der Einzelmerkmale im Hinblick auf ihre Brauchbarkeit für weitere Untersuchungen. Zur Diskussion stehen nun im ersten Abschnitt die Merkmale Osteophyten, Randleistenbeschaffenheit, Randleistenübergang und Lamina cribrosa.

Die Ergebnisse des Merkmals Osteophyten (Tab. 6, S. 35, Abb. 36, S. 36) zeigen: Es finden sich meistens glatte Ränder bis geringe Unregelmäßigkeiten, also die Spondylosegrade 0 - 1. Grund- und Deckplatten zeigen hierbei ähnliches Verhalten, Grundplatten allerdings häufiger den Spondylosegrad 1, Deckplatten dagegen 0. Bei höheren Spondylosegraden ergeben sich keine Differenzen.

Die Befundung der Randleistenbeschaffenheit (Tab. 7, S. 37, Abb. 37, S. 38) ergibt bei dem Gruppenmerkmal 1 (normale Breite) keine Unterschiede zwischen Grund- und Deckplatten. Bei den Grundplatten finden sich jedoch viele verbreiterte Randleisten (Gruppenmerkmal 2), bei den Deckplatten dagegen nicht. Verschmälerungen (Gruppenmerkmal 3) kommen bei beiden Kollektiven sehr selten vor. Neun Präparate weisen keine eindeutig einzuordnenden Gruppenmerkmale auf. Sie stellen also Mischformen dar

(5 Grundplatten, 4 Deckplatten). Der Randleistenverlauf (Abb. 38, S. 38) ist bei den Grundplatten meistens ungleichmäßig, bei den Deckplatten dagegen häufiger gleichmäßig. Zwei Präparate (Deckplatten) zeigen beide Verlaufsformen. Beide Kollektive haben im Randleistenbereich eine vorwiegend geschlossene Oberflächenstruktur (Abb. 39, S. 39); die Deckplatten fast ausschließlich, die Grundplatten sind dagegen etwas häufiger perforiert. 12 Präparate (7 Grundplatten, 5 Deckplatten) zeigen nebeneinander beide Formen der Oberflächenstruktur (Gruppenmerkmal a, b).

Zusammenfassend läßt sich für die Merkmale "Osteophyten" und "Randleistenbeschaffenheit" feststellen: Grundplatten erscheinen morphologisch variabler als Deckplatten. Beide Kollektive sollten getrennt behandelt werden.

Der Übergang von der Randleiste zur Lamina cribrosa (Tab. 8, S. 40, Abb. 40, S. 41) zeichnet sich sowohl bei Grund- als auch bei Deckplatten deutlich ab. Etwa ein Fünftel der Präparate weist einen unscharfen Randleistenübergang auf (Gruppenmerkmal 2). Es besteht kein Unterschied zwischen Grund- und Deckplatten. Sieben Präparate sind nicht genau einzuordnen (3 Grundplatten, 4 Deckplatten). Bei ihnen ist der Randleistenübergang teilweise scharf, teilweise unscharf.

Die Lamina cribrosa (Tab. 9, S. 42, Abb. 41, S. 43) zeigt bei beiden Kollektiven meistens feinwabige, einige vergrößerte Poren (Grad 2). Grobporige Präparate sind weniger häufig als feinporige. Fünf Präparate (4 Grundplatten, 1 Deckplatte) haben nebeneinander feinporige und grobporige Bezirke (Grad 2, 4). Es findet sich kein Unterschied zwischen Grund- und Deckplatten. Für die beiden Merkmale "Randleistenübergang"

und "Lamina cribrosa" ist also eine getrennte Betrachtung beider Kollektive nicht notwendig.

Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte wurde unterteilt in absolute Konkavität und in der Konkavitätsquotienten, wobei einmal der absolute Betrag der Ausmuldung, das andere Mal dieser absolute Betrag in Beziehung zur Fläche der Endplatte gesehen wurde.

Die absolute Konkavität (Tab. 10, S. 44, Abb. 42, S. 45) beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert 2,8 mm ($\pm$ 0,8; Bereich 1,4 - 4,7)

für Deckplatten:

Mittelwert 2,5 mm ($\pm$ 0,7; Bereich 1,2 - 3,9).

Wie die Abbildung 42 zeigt, weisen die Grundplatten vereinzelt etwas stärkere Ausmuldungen auf (4,0 - 4,9 mm). Dieser Bereich findet sich bei den Deckplatten nicht mehr. Endplatten mit niedriger bis mittlerer absoluter Konkavität zeigen keinen Unterschied zwischen beiden Kollektiven.

Der Konkavitätsquotient (Tab. 11, S. 46, Abb. 43, S. 47) ist

für Grundplatten:

Mittelwert $1,7 \text{ mm}^{-1}$ ($\pm$ 0,4; Bereich 0,8 - 2,6)

für Deckplatten:

Mittelwert $1,7 \text{ mm}^{-1}$ ($\pm$ 0,4; Bereich 1,0 - 2,8).

Es besteht somit für das Merkmal "Konkavitätsquotient" kein Unterschied zwischen den beiden Endplattengruppen.

Im radiologischen Teil wurden folgende Merkmale ausgewertet: Die Knochendichte, die Anisotropie und die Randleistenmineralisierung der Wirbelkörperendplatte.

Die Knochendichte wurde für das Gesamtprofil, für die isolierte Lamina cribrosa und für die Randleistenbezirke ermittelt. Die Zahlenwerte errechnen sich aus den Mittelwerten sämtlicher jeweils zugehöriger Kurvenmaxima (Zonen großer Dichte) und stellen eine gute Charakterisierung des Dichteniveaus der untersuchten Bezirke dar. Mit Hilfe dieser ermittelten Werte wurde dann der Dichteunterschied zwischen Randleiste und Lamina cribrosa herausgestellt.

Die Dichte der Gesamtprofile (Tab. 12, S. 48, Abb. 44, S. 49) beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert 10,8 g% Ca ($\pm$ 3,4; Bereich 3,7 - 21,0

für Deckplatten:

Mittelwert 9,2 g% Ca ($\pm$ 2,9; Bereich 3,4 - 19,0).

Zwei Drittel der Präparate bewegen sich im Mittelfeld auf einem schmalen Dichteniveau zwischen 8 und 12 g% Ca.

Die mittlere Dichte der Laminae cribrosae (Tab. 13, S. 50, Abb. 45, S. 51) ist

für Grundplatten:

Mittelwert 9,6 g% Ca ($\pm$ 3,4; Bereich 2,5 - 21,0)

für Deckplatten:

Mittelwert 8,7 g% Ca ($\pm$ 3,5; Bereich 2,7 - 18,6).

Das Mittelfeld setzt sich hier weniger deutlich aus der Gesamtverteilung ab, als dies bei den Gesamtprofilen der Fall war; in den höheren Dichtebereichen (12 - 22 g% Ca) finden sich jedoch bei beiden Kollektiven deutlich weniger Präparate als im niedrigeren Dichtebereich (2 - 8 g% Ca).

Für die Merkmale "Dichte der Gesamtprofile" und "Dichte der Laminae" läßt sich feststellen: Es findet sich kein Unterschied zwischen Grund- und Deckplatten. Beide Kollektive können zusammen behandelt werden. Als Anhaltspunkt kann gelten: Die mittlere Dichte beträgt für die Gesamtprofile ungefähr 10 g% Ca, ein Großteil der Präparate bewegt sich zwischen 8 und 12 g% Ca; der Mittelwert für die Dichte der Larinae cribrosae beträgt 9,1 g% Ca, Laminae mit einer durchschnittlichen Dichte über 12 g% Ca kommen nicht sehr häufig vor.

Die Dichtedifferenz (Tab. 14, S. 52, Abb. 46, S. 53) zwischen Randleiste und Lamina cribrosa beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert 3,7 g% Ca ($\pm$ 3,0; Bereich 0,3 - 12,2)

für Deckplatten:

Mittelwert 4,3 g% Ca ($\pm$ 5,3; Bereich 0,4 - 30,0).

Von den Grundplatten wiesen zwei Präparate einen negativen Differenzbetrag auf, d.h. die Lamina war hier geringfügig dichter als die Randleiste. Dies ist jedoch als Ausnahme zu betrachten. Sowohl bei Grund- als auch bei Deckplatten bewegen sich die Differenzbeträge in der Regel zwischen + 1 und + 6 g% Ca, Werte unter 3 g% sind wiederum häufiger als Werte darüber. Werte über 6 g% Ca und unter 1 g% Ca kommen sehr selten vor. Grund- und Deckplatten zeigen im wesentlichen keine Unterschiede, beide Kollektive können also gemeinsam bewertet werden. Die Dichte der Lamina cribrosa beträgt demnach im Mittel 4,0 g% weniger als die der Randleiste, d.h. die Randleiste beinhaltet etwa ein Drittel mehr an Knochenmasse.

Die Anisotropie (die mittlere Amplitude der Ca-Dichte) wurde für das Gesamtprofil sowie für die Lamina cribrosa getrennt ermittelt. Dazu wurde jeweils mit dem Übertragungsmaßstab die Differenz von Kurvenmaximum (Zone großer Dichte) zu Kurvenminimum (Zone geringer Dichte) abgegriffen und rechnerisch der Mittelwert sämtlicher Differenzen (von Maximum zu Minimum) des jeweils untersuchten Bezirks gebildet. Dieser Mittelwert stellt einen guten Parameter dar, um die Homogenität des inneren Gefüges der Endplatte oder auch der Lamina cribrosa übersichtsweise zu charakterisieren.

Die mittlere Anisotropie der Gesamtprofile (Tab. 14, S. 54, Abb. 47, S. 55) beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert 1,78 g% Ca ($\pm$ 0,62; Bereich 0,52 - 3,42)

für Deckplatten:

Mittelwert 1,75 g% Ca ($\pm$ 0,53; Bereich 0,65 - 3,05).

Die mittlere Anisotropie der Laminae cribrosae (Tab. 16, S. 56, Abb. 48, S. 57) beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert 1,85 g% Ca ($\pm$ 0,70; Bereich 0,53 - 3,70)

für Deckplatten:

Mittelwert 1,82 g% Ca ($\pm$ 0,70; Bereich 0,46 - 3,45).

Für die Merkmale "Anisotropie der Gesamtprofile" und "Anisotropie der Laminae cribrosae" kann festgestellt werden: Es gibt keine Unterschiede zwischen Grund- und Deckplatten. Beide Kollektive können zusammen behandelt werden. Die mittlere Anisotropie der Gesamtprofile beträgt demnach 1,76 g% Ca, die der Laminae cribrosae 1,83 g% Ca. Die Laminae cribrosae sind also in der Regel

geringfügig anisotroper (inhomogener) als die Gesamtprofile (Differenz zu den entsprechenden Werten für Gesamtprofile 0,07 g%). Hier macht sich der Einfluß der etwas homogenen Randleistenbereiche bemerkbar.

Die Randleistenmineralisierung wurde aus der Mineralisierung eines jeweils definierten Meßpunktes im dorsalen und ventralen Meßstreckenabschnitt ermittelt. Dazu wurden die maximalen Schichtdicken der Randleiste dorsal und ventral auf der für die radiologischen Untersuchungen festgelegten Meßstrecke im Präparat bestimmt. Die beiden jeweils zugeordneten maximalen Schwächungsgleichwerte der entsprechenden Bezirke wurden dann durch diese Werte dividiert. Daraus konnte die durchschnittliche Randleistenmineralisierung als Mittelwert errechnet werden (Einheit g% Ca pro mm Schichtdicke). Die Unterschiede im Mineralisierungsgrad zwischen dorsalem und ventralem Randleistenbereich, die mit der angegebenen Untersuchungsmethode gefunden wurden (Mittelwert der Differenz 2,7 g% Ca; Bereich 0 - 10,0 g% Ca), sprechen, setzt man eine gleichmäßige Mineralisation pro Volumeneinheit im Knochen voraus, für größere Porosität (Hohlraumanteil) und unregelmäßigeren Aufbau der Bezirke mit geringem Calciumgehalt.

Fehlermöglichkeiten liegen bei der verwendeten Untersuchungsmethode vor allem in der Bestimmung der Schichtdicke. Die jeweiligen Randleistenmaxima können zwar eindeutig bestimmt werden, jedoch gehen eventuell vorhandene Hohlräume im Inneren des Präparates mit in die Messung ein. Dadurch könnte es theoretisch vorkommen, daß die Zuordnung zum entsprechenden Schwächungsgleichwert nicht eindeutig ist, weil makroskopisch dünnere Bezirke der Randleiste infolge der Hohlraumbildung im Meßbereich mehr Knochenmasse als dieser

aufweisen. Durch die visuelle Beurteilung der Lage der beiden Maxima auf der Meßstrecke im Präparat und auf der Meßkurve kann diese Fehlermöglichkeit jedoch erkannt und damit eingeschränkt werden. Zum anderen bleibt, auch wenn die Zuordnung eindeutig ist, die Tatsache, daß eventuelle Hohlräume im Meßbereich die Charakterisierung der Randleiste in bezug auf ihre Mineralisierung verfälschen können, bestehen. Der entsprechende Zahlenwert fällt dann niedriger aus, als es der Wirklichkeit entspricht.

Die Randleistenmineralisierung (Tab. 17, S. 58, Abb. 49, S. 59) beträgt

für Grundplatten:

Mittelwert $12,6 \frac{\text{g\% Ca}}{\text{mm}}$ ($\pm 2,9$; Bereich 7,8 - 23,0)

für Deckplatten:

Mittelwert $13,4 \frac{\text{g\% Ca}}{\text{mm}}$ ($\pm 4,4$; Bereich 7,3 - 23,0).

Auch für das Merkmal "Randleistenmineralisierung" können keine Unterschiede zwischen Grund- und Deckplatten festgestellt werden. Beide Kollektive können zusammen bewertet werden. Die durchschnittliche Randleistenmineralisierung der Wirbelkörperendplatte beträgt demnach $13,0 \text{ g\% Ca/mm}$ Endplattenstärke.

Um zu Schlußfolgerungen zu gelangen, wurden die morphologischen Ergebnisse zueinander, die radiologischen Ergebnisse zueinander und letztlich die morphologischen und die radiologischen Ergebnisse zueinander in Beziehung gesetzt. Die Korrelationen können wegen der geringen Fallzahl statistisch nicht abgesichert werden. In Anbetracht der Vielzahl und der Vielfalt der Einzelmerkmale sollen die Regressionsberechnungen lediglich

etwaige mögliche Tendenzen aufzeigen helfen. Die aus den Abbildungen 50 - 56 (S. 60 - 66) gezogenen Schlüsse sind in Tabelle 18 übersichtsweise zusammengestellt.

Tabelle 18

zugehörige
AbbildungMerkmal gegen Merkmal
Regression Grundplatten Deckplatten

T e n d e n z

50	Konkavitäts- quotient	Porengröße	++	+	ein hoher Konkavitätsquotient kommt fast nur bei mittleren und kleinen Porengrößen vor, je größer die Poren, desto kleiner also der Konkavitäts- quotient
51	Dichte Gesamt- profile	Anisotropie Gesamt- profile	0,04	0,06	--
52	Dichte Laminae	Anisotropie Laminae	0,27	0,28	je größer die Dichte, desto größer die Anisotropie
53	Dichte Gesamt- profile	Porengröße	++	+	je größer die Porengröße, desto geringer die Dichte
54	Dichte Gesamt- profile	Konkavitäts- quotient	-0,20	-0,10	je größer die Dichte, desto geringer der Konkavitätsquotient
55	Anisotropie Gesamt- profile	Konkavitäts- quotient	0,36	0,075	je größer die Anisotropie, desto kleiner der Konkavitätsquotient
56	Randleisten- minerali- sierung	Konkavitäts- quotient	0,31	0,23	je höher die Mineralisierung, desto geringer der Konkavitätsquotient

Zusammenfassend lassen sich anhand der Korrelationen folgende Tendenzen aufzeigen:

Hohe Konkavitätsquotienten gehen mit makroskopisch mittleren bis kleinen Poren einher. Grobporige Präparate zeigen niedrigere Konkavitätsquotienten.

Dichte und Anisotropie der Gesamtprofile korrelieren nicht miteinander, d.h. die Amplituden sind unabhängig vom Dichteniveau, massenreiche Laminae cribrosae tendieren dagegen zu inhomogeneren Gefügen.

Was den Zusammenhang von Dichte und makroskopischer Porengröße betrifft, so zeigt sich, wie zu erwarten, daß die Dichte mit der Feinporigkeit zunimmt.

Je größer der Konkavitätsquotient, desto kleiner werden die Werte für die Dichte, die Randleistenmineralisierung und für die Anisotropie. Ein hohes Maß der Konkavität der Wirbelkörperendplatte spricht also für weniger Dichte (geringer Massenanteil) und weniger mineralisierte Endplatten, so daß die Konkavierung mit einem Verlust an Knochenmasse und Mineralgehalt einherzugehen scheint. Hier ist anzufügen, daß VIRTAMA, GASTRIN und TELKKÄ (1962) in ihrer Untersuchung den Konkavitätsindex der Knochendichte gegenüberstellten und dabei keine eindeutigen Zusammenhänge nachweisen konnten, sondern nur feststellten, daß der Anteil an bikonkaven Wirbeln bei Osteoporose höher ist als bei gesunden Wirbelsäulen.

Die ebenfalls in der Untersuchung auftretenden niedrigeren Werte für die Anisotropie würden für eine höhere Ordnung des inneren Gefüges bei großen Konkavitätsquotienten sprechen. Die rein mechanische Vorstellung, nach der zunehmender Massenverlust und zunehmende Konkavierung schließlich zum Endplatteneinbruch im Wirbel

führt, läßt aber eher ein umgekehrtes Verhalten erwarten, d.h. die Werte für die Anisotropie müßten steigen. Hier ist einzuwenden, daß der Wert für die Regression bei den Deckplatten sehr klein (0,075) und diese Aussage damit fraglich ist. Andererseits wäre ein gewisser Kompensationsmechanismus, bei dem der Verlust an Masse und Mineral bei höherer Konkavierung mit einer zunehmenden Ordnung des Gefüges einhergeht, denkbar.

Schließlich stellt sich die Frage, inwieweit die genannten Einzelmerkmale verwertbare Parameter im Hinblick auf weitere Untersuchungen darstellen. Die Brauchbarkeit eines jeweiligen Merkmals ist ganz allgemein gesehen besonders groß, wenn die Daten exakt zu ermitteln sind und das Verfahren dazu nur wenigen subjektiven Einflüssen unterworfen ist. Ein weiteres Kriterium ist, daß sich außerdem Klassen bilden lassen, die eine genügend starke Besetzung aufweisen, und daß die Übereinstimmung zwischen Grund- und Deckplatten hinsichtlich des einen Merkmals besonders gut ist, da sich dann die Ergebnisse poolen lassen.

Die Beurteilung der makroskopischen Morphologie liefert nur eine relative Bezugsgröße, die auf die jeweils im untersuchten Kollektiv vorkommenden Extreme ausgerichtet ist. Hierbei kann eine gewisse subjektive Bewertung der Graduierung nicht ausgeschlossen werden. Es liegt kein Meßergebnis sondern lediglich eine Klassifizierung vor.

Bei der Befundung der Randleiste und der Lamina cribrosa zeigen sich einige Präparate morphologisch so variabel, daß sie nicht eindeutig den festgelegten Bewertungsschemata zugeordnet werden können. (Merkmal "Randleistenbeschaffenheit": Breite 9, Verlauf 2, Struktur 12; Merkmal "Randleistenübergang" 7; Merkmal "Lamina cribrosa" 5 Präparate nicht eindeutig einzuordnen) Diese Probleme ergeben sich für das Merkmal Osteophyten nicht.

Die makromorphologischen Merkmale (Osteophyten, Randleistenbeschaffenheit, Randleistenübergang und Lamina cribrosa) können demnach für die Beurteilung der Wirbelkörperendplatte nur mit Einschränkung als brauchbar gelten.

Exakt und objektiv ermittelbar sind dagegen die Daten für die absolute Konkavität und den Konkavitätsquotienten. Es handelt sich um direkt meßbare Daten. Die Übereinstimmung zwischen Grund- und Deckplatten ist gut. Es sind genügend besetzte Klassen bildbar, so daß die Brauchbarkeit dieser beiden Parameter für die Charakterisierung des Zustands der isolierten Wirbelkörperendplatte gerade im Hinblick auf die Osteoporose groß ist.

Bei der Erfassung der radiologischen Daten liegt die Problematik weniger in der Methodik der radiologischen Auswertung sondern vielmehr schon bei der Aufbereitung der Rohpräparate zur isolierten Endplatte. Aus den Arbeiten SCHMORLS (1953) ist die dichtere Strukturierung der Wirbelkörperspongiosa in der Nähe der Endplatten bekannt. SCHLÜTER (1965) stellte in seiner Untersuchung über die Materialverteilung im Wirbelkörperschnitt fest, daß die Spongiosa nach den Belastungsflächen, also den Endplatten hin, ständig zunimmt. Aus dieser Tatsache ergibt sich bei der Präparation eine gewisse Problematik für die Entscheidung, wo nun die Grenze zwischen Markraum und Endplatte zu ziehen ist. Diesem Sachverhalt wurde durch Einhaltung der in 2.1.2. erarbeiteten Richtlinien Rechnung getragen (alle vertikalen Strukturen wurden so lange abgetragen, bis deutlich horizontale Strukturen von feinwabig dichtem Aufbau erkennbar waren). Sicherlich sind auch hierbei subjektive Einflüsse nicht ganz ausschaltbar, jedoch wird gerade bei osteoporotisch verändertem Wirbel, bei dem ja zunächst der Markraum stärker an Substanz verliert, die Endplatte also scheinbar an Kontrast gewinnt, diese Frage leichter zu beantworten sein. In der Literatur wird der Be-

tonung der Wirbelkörperendplatten Bedeutung für die Diagnose einer Osteoporose beigegeben (JULKUNEN 1962).

Die eigentlichen Daten für die einzelnen radiologischen Merkmale sind exakt ermittelbar und unterliegen dabei keinen subjektiven Einflüssen. Es sind genügend stark besetzte Klassen bildbar und die Übereinstimmung zwischen Grund- und Deckplatten ist gut. Dies kommt auch in den Korrelationen deutlich zum Ausdruck.

Untersuchungen über die Dichte der Wirbelkörperendplatte als Maß für eine Osteoporose haben VIRTAMA, TELKKÄ und HELELÄ (1965) durchgeführt. Sie ermittelten die relative Dichte der Deckplatten durch Subtraktion der durchschnittlichen Deckplattendichte von der durchschnittlichen Wirbelkörper-spongiosadichte.

HEUCK (1970) hält die relative Dichte der Wirbelkörperendplatten für ein geeigneteres Maß zur Erfassung einer Osteoporose als den Nachweis von Wirbeldeformatäten, wobei er sich jedoch auf den aus dem Röntgenbild ermittelten Bikonkavitätsindex bezieht.

Es muß festgestellt werden, daß die Konkavität und der Konkavitätsquotient dagegen den tatsächlichen dreidimensionalen Zustand der Endplatte beschreiben, daß die Ermittlung dieser Werte relativ einfach und mit nur geringen Fehlermöglichkeiten behaftet ist, so daß man gerade bei der Untersuchung der isolierten Endplatte auf die Befundung ihrer Deformität nicht verzichten sollte, Dies bekräftigen auch die Regressionsberechnungen im Abschnitt 3.5. Korrelation.

Abschließend läßt sich folgende Schlußfolgerung ziehen: statistisch signifikante Unterschiede im Verhalten zwischen Grund- und Deckplatten konnten nicht gefunden werden. Das Gesamtkollektiv kann demnach unaufgegliedert ausgewertet werden. Lediglich in Bezug auf die Merkmale "Osteophyten" und "Rand-

leistenbeschaffenheit" sind Grundplatten morphologisch variabler als die Deckplatten. Es hat sich gezeigt, daß die Merkmale "absolute Konkavität" und "Konkavitätsquotient" sehr gut geeignet sind, den Zustand der isolierten Wirbelkörperendplatte zu erfassen. Auch die Merkmale "Dichte", "Anisotropie" und "Randleistenmineralisierung" haben sich dafür als gut brauchbar erwiesen. Die makromorphologischen Merkmale (Osteophyten, Randleistenbeschaffenheit, Randleistenübergang, Lamina cribrosa) können nur mit Einschränkung als brauchbar gelten, da sie keine Meßgrößen darstellen, sondern nur beschreibender Natur sind. Auf die Beurteilung des Merkmals "Osteophyten" sollte wegen seiner klinischen Bedeutung dennoch nicht verzichtet werden.

5. Zusammenfassung

Aus 30 Präparaten von unausgewählten, kompletten Lendenwirbelsäulen wurden die kranialen Wirbelkörperhälften des II. LWK und die kaudalen Wirbelkörperhälften des IV. LWK entnommen und nach Mazeration auf die isolierte Grund- bzw. Deckplatte reduziert. Entsprechend der Aufgabenstellung sollten Untersuchungsmöglichkeiten zur makroskopisch-morphologischen Befundung, zur Quantifizierung der Konkavierung und Methoden zur röntgenologisch-densitometrischen Analyse dieser Wirbelkörperendplatten ausgearbeitet werden.

Zur makromorphologischen Befundung dienten die Merkmale: Osteophyten, Randleistenbeschaffenheit, Randleistenübergang, Lamina cribrosa und Konkavität. Das Merkmal Osteophyten bezieht sich auf den Ausprägungsgrad der deformierenden Spondylophyten in den Randbereichen der Grund- und Deckplatten. Die Randleiste wurde beurteilt nach Breite, Verlauf und Struktur. Der Übergang von der Randleiste zur Lamina cribrosa wurde in Bezug auf seine Schärfe bzw. Unschärfe hin betrachtet. Die Begutachtung der Lamina cribrosa bezog sich auf die Oberflächenstruktur, insbesondere auf die Porengröße. Die Konkavität der Wirbelkörperendplatte wurde in absoluten Werten (Ausmuldungstiefe) und als Konkavitätsquotient registriert.

Die radiodensitometrische Analyse erstreckte sich auf die Merkmale Knochendichte, Anisotropie und Randleistenmineralisierung. Die Präparate wurden zusammen mit Kalziumchloridlösungen steigender Konzentrationen (Referenzsystem) auf einem Mammographiegerät geröntgt. Stellvertretend für das Gesamtröntgenbild wurde ein schmaler Meßstreifen senkrecht durch die Mitte des maximalen Endplattendurchmessers bei 40-facher Vergrößerung nach eigener Methode mittels Projektion und Photozellen ausgewertet. Dieser Meßstreifen ("Gesamtprofil") beinhaltet jeweils einen Ausschnitt der

dorsalen Randleiste, der Lamina cribrosa und der ventralen Randleiste.

Die Meßergebnisse wurden jeweils in Form einer Kurve festgehalten. Die Auswertung der von einem Zweikanalschreiber gelieferten Kurven bestand in einem Vergleich der Amplituden von Präparat und Verdünnungsreihe. Bezugspunkte waren Kurvenmaxima und Minima. Die Höhe der Amplitude in einem Meßpunkt ist Ausdruck für die Knochendichte in diesem Punkt.

Die Knochendichte wurde für die gesamte Meßstrecke ("Gesamtprofil") und getrennt für die dorsale Randleiste, die Lamina cribrosa und die ventrale Randleiste ermittelt. Mit Hilfe der Mittelwerte der Kurvenmaxima wurde der Dichteunterschied zwischen Randleiste und Lamina cribrosa festgestellt.

Als Ausdruck für die radiologische Anisotropie (mittlere Amplitude der Kalziumdichte) in einem bestimmten Bereich wurde die Differenz von Kurvenmaximum zu Kurvenminimum gewertet und zwar gesondert für das Gesamtprofil und die Lamina cribrosa. Die Werte wurden aus den Mittelwerten der Differenzbeträge der zugehörigen Meßbezirke errechnet.

Zur Ermittlung der Randleistenmineralisierung wurden die maximalen Schwächungsgleichwerte der dorsalen und der ventralen Randleiste durch die zugehörigen maximalen Schichtdicken des Präparats dividiert und daraus der Mittelwert gebildet.

Statistisch signifikante Unterschiede im Verhalten zwischen Grund- und Deckplatten konnten nicht gefunden werden. Das Gesamtkollektiv kann demnach unaufgegliedert ausgewertet werden. In Bezug auf die Merkmale Osteophyten und Randleistenbeschaffenheit scheinen Grundplatten morphologisch variabler zu sein als die Deckplatten.

Es hat sich gezeigt, daß die Merkmale absolute Konkavität und Konkavitätsquotient sehr gut geeignet sind, den Zustand der isolierten Wirbelkörperendplatte zu erfassen. Auch die Merkmale Dichte, Anisotropie und Randleistenmineralisierung haben sich dafür als gut brauchbar erwiesen. Die Merkmale Osteophyten, Randleistenbeschaffenheit, Randleistenübergang und Lamina cribrosa können nur mit Einschränkung als brauchbar gelten, da sie keine Meßgrößen darstellen, sondern nur beschreibender Natur sind.

Die Wirbelkörperendplatten zeigten meistens glatte Ränder bis geringe Unregelmäßigkeiten (Spondylosegrade 0 - 1). Die Randleiste setzte sich in der Regel deutlich von der Lamina cribrosa ab. Die Lamina cribrosa trug meist feinwabige einige vergrößerte Poren. Die durchschnittliche Konkavität betrug 2,7mm, der mittlere Konkavitätsquotient $1,7\text{mm}^{-1}$.

Die mittlere Dichte der Wirbelkörperendplatten entsprach ungefähr einem Schwächungsgleichwert von 10 g% Kalzium. Ein Großteil der Präparate bewegte sich zwischen 8 und 12 g% Ca. Der Mittelwert für die Dichte der Lamina cribrosa betrug 9,2 g% Ca. Die Dichtedifferenz zwischen Randleiste und Lamina war im Mittel 4 g% Ca, die Randleiste beinhaltete also etwa ein Drittel mehr an Knochenmasse.

Die mittlere Anisotropie der Gesamtprofile betrug 1,76 g% Ca, die der Laminae cribrosae 1,83 g% Ca. Die Laminae waren also in der Regel geringfügig stärker anisotrop (inhomogener) als die Gesamtprofile. Hier macht sich der Einfluß der etwas homogenen Randleistenbezirke bemerkbar.

Die durchschnittliche Randleistenmineralisierung betrug 13,0 g% Ca pro Millimeter Endplattenstärke.

Die Korrelation der Daten ergab: hohe Konkavitätsquotienten gehen mit makroskopisch mittleren bis kleinen Poren einher. Dichte und Anisotropie der Gesamtprofile korrelieren nicht

miteinander, massenreiche Laminae cribrosae tendieren dagegen zu inhomogeneren Gefügen. Die Knochendichte nimmt, wie zu erwarten, mit makroskopischer Feinporigkeit zu. Je größer der Konkavitätsquotient, desto kleiner werden die Werte für die Dichte, die Randleistenmineralisierung und die Anisotropie. Ein hohes Maß an Konkavität der Wirbelkörperendplatte spricht daher für geringere Knochendichte und niedrigeren Mineralgehalt.

6. Literaturverzeichnis

1. BARNETT, F.; NORDIN, B.E.C.:
The radiological diagnosis of osteoporosis: A new approach.
Clin.Radiol. 11, 166-174 (1960)
Radiological assessment of bone density.
Brit.J.Radiol. 34, 683-692 (1961)
2. HEUCK:
Die radiologische Erfassung des Mineralgehalts des Knochens.
Handbuch der med.Radiologie IV, 245
Springer Verlag 1970
3. JULKUNEN, H.:
Rheumatoid spondylitis
Acta rheum.scand.Suppl. 4, (1962)
4. SCHLÜTER, K.:
Form und Struktur des normalen und des pathologisch veränderten Wirbels.
Wirbelsäule in Forschung und Praxis 30,
Hippokrates Verlag Stuttgart 1965
5. SCHMORL; JUNGHANS:
Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik.
Thieme - Verlag Stuttgart (1953)
6. VIRTAMA; GÄSTRIN; TELKKÄ, G.:
Biconcavity of the vertebrae as an estimate of their bone density.
Clin.Radiol. 13, 128-131 (1962)
7. VIRTAMA; TELKKÄ; HELELÄ:
Relative density of the vertebral endplates as an estimate of osteoporosis.
Brit.J.Radiol. 38, 360-364 (1965)

7. Tabellarischer Anhang

Legende zum tabellarischen Anhang Seite 88 - 95

Fall Nr. : Präparatenummer, fortlaufend numeriert

D : mittlere Dichte (Schwächungsgleichwert in g% Ca)

Dmax : maximale Dichte (Schwächungsgleichwert in g% Ca)

Dmin : minimale Dichte (Schwächungsgleichwert in g% Ca)

A : Anisotropie (Schwächungsgleichwert in g% Ca)

M : Mineralisierung (Schwächungsgleichwert in g% Ca)

RLd : dorsale Randleiste

RLv : ventrale Randleiste

LAM : Lamina cribrosa

GESPR : Gesamtprofil

Fall-Nr. 1:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	5,2	14,0	10,5	10,9	10,7	13,0	10,3	10,6
Dmax	8,0	20,2	11,5	-	11,0	17,0	12,0	-
Dmin	4,0	11,4	7,0	-	10,5	10,8	4,0	-
A	2,50	2,50	1,43	1,65	2,0	0,50	1,56	1,56
M	10,0	10,0	-	10,0	12,6	12,0	-	12,3

Fall-Nr. 2:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	18,0	13,5	10,8	12,2	15,7	10,3	6,4	9,7
Dmax	21,0	18,0	11,4	-	16,5	11,5	11,2	-
Dmin	15,5	11,8	10,0	-	15,0	10,0	3,0	-
A	1,00	2,90	1,29	2,15	0,35	2,20	1,05	1,15
M	14,2	18,0	-	16,1	15,0	16,5	-	15,7

Fall-Nr. 3:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,9	10,6	7,7	8,6	8,0	9,5	8,5	8,5
Dmax	16,7	12	10,5	-	10,2	11,2	10,5	-
Dmin	10,5	10,1	3,0	-	1,5	5,0	3,0	-
A	1,62	0,87	2,72	2,34	3,85	4,25	2,75	3,05
M	11,2	12,0	-	11,6	10,2	11,2	-	10,7

Fall-Nr. 4:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	10,5	10,4	4,2	6,7	14,8	11,5	8,3	9,1
Dmax	10,6	10,9	9,0	-	15,7	12,8	12,0	-
Dmin	10,2	6,0	1,0	-	14,0	10,8	3,0	-
A	0,42	1,81	1,74	1,58	0,5	0,83	1,65	1,55
M	15,0	13,5	-	14,2	8,3	9,9	-	9,1

Fall-Nr. 5:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,0	11,3	10,4	10,6	11,6	10,9	9,3	9,7
Dmax	11,9	12,4	12,0	-	12,3	12,8	10,8	-
Dmin	10,6	10,8	10,2	-	10,3	10,1	5,0	-
A	0,43	0,50	0,53	0,52	2,20	2,00	1,30	1,45
M	9,0	8,2	-	8,6	11,2	12,8	-	12,0

Fall-Nr. 6:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	15,0	15,8	11,3	12,8	15,0	16,2	9,4	11,7
Dmax	15,5	25,0	14,0	-	18,0	21,2	12,5	-
Dmin	13,6	12,0	10,3	-	13,0	11,8	2,0	-
A	0,92	1,70	0,83	1,12	0,50	1,56	1,49	1,24
M	9,7	12,5	-	11,1	9,4	8,4	-	8,9

Fall-Nr. 7:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	22,0	11,8	9,7	11,8	12,5	11,4	9,9	10,5
Dmax	22,5	13,5	11,0	-	12,8	12,0	10,8	-
Dmin	19,0	10,5	5,0	-	10,0	10,0	4,0	-
A	1,50	1,10	1,16	1,20	1,54	0,41	2,1	1,61
M	11,0	9,0	-	10,0	12,8	8,0	-	10,4

Fall-Nr. 8:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,0	10,0	5,4	7,4	10,0	10,2	4,5	6,0
Dmax	16,0	11,5	10,0	-	11,0	11,5	10,0	-
Dmin	10,2	6,0	2,0	-	7,0	9,0	1,0	-
A	0,58	1,12	1,51	1,30	1,40	2,50	1,52	1,65
M	8,0	11,5	-	9,7	7,8	7,7	-	7,7

Fall-Nr. 9:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,0	10,6	6,6	8,0	10,3	8,7	4,2	5,5
Dmax	12,0	13,0	10,5	-	10,4	10,8	10,3	-
Dmin	-	8,0	1,0	-	10,3	4,5	1,0	-
A	-	2,23	1,80	1,92	0,10	2,25	2,20	2,20
M	12,0	13,0	-	12,5	7,4	7,2	-	7,3

Fall-Nr. 10:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	23,5	10,6	11,9	12,5	15,5	13,3	11,0	11,7
Dmax	24,0	12,0	20,6	-	15,8	16,3	13,3	-
Dmin	23,0	8,0	3,0	-	15,2	11,0	10,3	-
A	1,20	2,00	2,37	2,26	1,80	1,67	0,46	0,65
M	13,3	15,0	-	14,1	10,4	10,8	-	10,6

Fall-Nr. 11:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,8	11,1	7,4	9,3	9,8	7,6	4,9	6,0
Dmax	12,9	15,5	10,2	-	10,7	10,6	10,0	-
Dmin	10,9	10,1	3,0	-	8,0	4,0	2,5	-
A	0,67	0,85	3,03	2,12	0,95	1,35	1,30	1,26
M	13,3	11,0	-	12,1	9,7	8,7	-	9,2

Fall-Nr. 12:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	20,3	21,0	21,0	21,0	11,5	7,7	3,9	4,9
Dmax	23,5	30,0	38,0	-	13,7	10,5	13,5	-
Dmin	18,0	19,5	11,5	-	9,6	0,5	0,5	-
A	3,90	2,67	3,70	3,42	1,20	3,10	1,48	1,72
M	11,9	9,0	-	10,3	19,6	21,0	-	20,3

Fall-Nr. 13:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,9	10,5	10,8	11,4	13,3	8,4	8,0	8,7
Dmax	13,6	12,2	11,4	-	15,5	11,7	10,6	-
Dmin	10,5	9,0	10,1	-	11,0	5,0	4,0	-
A	1,29	1,15	1,02	1,14	1,00	2,24	2,71	2,27
M	12,1	12,2	-	12,1	14,0	23,4	-	18,7

Fall-Nr. 14:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	14,5	10,8	7,8	8,7	12,7	8,5	7,6	8,0
Dmax	16,3	13,0	12,0	-	13,7	10,1	10,2	-
Dmin	12,7	10,0	3,0	-	11,7	5,0	2,5	-
A	4,50	1,07	1,75	1,67	2,00	3,20	2,88	2,91
M	9,6	13,0	-	11,3	13,7	17,0	-	15,7

Fall-Nr. 15:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,3	10,6	8,9	9,7	11,4	12,5	7,6	8,6
Dmax	12,7	11,7	11,0	-	12,3	14,7	14,9	-
Dmin	11,9	10,0	2,0	-	10,1	12,4	4,0	-
A	0,37	1,06	1,64	1,30	1,20	1,48	2,00	1,86
M	15,8	9,8	-	12,8	18,1	14,7	-	16,4

Fall-Nr. 16:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	28,2	-	16,0	(19,5)	>40,0	>40,0	18,6	-
Dmax	34,0	>40,0	22,5	-	>40,0	>40,0	33,0	-
Dmin	24,0	22,5	4,0	-	18,0	29,0	7,0	-
A	3,10	-	2,95	(3,00)	-	-	3,45	-
M	12,5	-	11,3	11,9	11,5	-	13,2	12,0

Fall-Nr. 17:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	13,7	11,1	10,1	10,5	12,0	14,6	12,8	13,2
Dmax	13,5	12,1	12,0	-	16,0	21,0	19,0	-
Dmin	11,0	10,1	7,0	-	10,8	12,8	10,0	-
A	1,69	1,00	1,29	1,28	1,95	1,85	1,42	1,60
M	19,5	15,0	-	17,2	13,3	19,0	-	16,2

Fall-Nr. 18:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	28,0	19,0	13,6	16,4	33,0	19,2	17,8	19,0
Dmax	40,0	24,0	16,0	-	34,5	23,5	27,6	-
Dmin	19,5	15,5	11,0	-	31,5	16,0	11,6	-
A	3,10	2,55	1,82	2,52	2,65	2,20	2,60	2,50
M	22,0	24,0	-	23,0	22,5	23,5	-	2,30

Fall-Nr. 19:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,1	11,9	11,2	11,3	15,7	11,4	10,2	11,2
Dmax	12,3	17,1	14,5	-	20,2	12,9	13,0	-
Dmin	10,5	9,0	4,5	-	12,5	10,3	4,5	-
A	0,95	2,80	1,62	1,76	2,25	1,00	2,10	1,91
M	6,0	12,0	-	7,6	16,0	24,0	-	20,0

Fall-Nr. 20:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,1	9,7	10,0	10,2	11,8	12,8	10,0	10,5
Dmax	12,5	10,6	11,8	-	13,6	13,9	12,8	-
Dmin	11,2	7,5	7,0	-	10,0	11,2	4,0	-
A	1,10	2,72	1,30	1,58	2,20	1,81	1,60	1,72
M	18,0	10,6	-	14,3	13,6	18,8	-	16,2

Fall-Nr. 21:

Grundplatte					Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,7	7,9	8,6	8,8	11,1	4,7	6,7	6,9
Dmax	14,2	10,0	11,8	-	11,8	9,0	10,9	-
Dmin	11,0	5,0	2,5	-	10,2	2,8	2,0	-
A	1,66	2,70	2,40	2,48	0,75	2,00	1,68	1,63
M	10,8	10,0	-	10,4	7,9	9,0	-	8,5

Fall-Nr. 22:

Grundplatte					Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,5	14,4	10,8	12,0	10,8	12,0	10,0	10,5
Dmax	14,0	20,1	15,2	-	11,8	14,0	13,8	-
Dmin	11,5	11,8	3,5	-	9,0	10,9	5,5	-
A	0,64	1,92	2,56	2,30	0,33	0,96	1,16	1,08
M	9,7	20,1	-	14,9	22,0	24,0	-	2,30

Fall-Nr. 23:

Grundplatte					Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,6	12,8	11,0	11,6	10,9	9,2	10,8	10,4
Dmax	12,3	17,6	14,2	-	10,9	13,8	12,5	-
Dmin	11,2	10,1	9,5	-	-	4,8	9,0	-
A	0,34	1,31	1,12	1,10	-	3,40	0,96	1,63
M	16,2	10,4	-	14,0	18,0	16,6	-	17,3

Fall-Nr. 24:

Grundplatte					Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	12,0	11,2	8,6	10,0	11,2	10,7	6,3	7,6
Dmax	13,6	14,9	11,2	-	12,2	16,0	11,5	-
Dmin	11,3	7,5	2,5	-	10,3	6,0	3,0	-
A	1,33	1,14	1,76	1,54	0,20	2,41	2,07	1,94
M	10,2	11,6	-	10,9	12,2	21,0	-	16,8

Fall-Nr. 25:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	17,0	10,5	9,0	11,3	10,2	9,1	9,2	9,3
Dmax	23,0	17,5	16,0	-	16,0	11,6	11,7	-
Dmin	10,5	8,0	5,0	-	10,0	4,0	4,0	-
A	1,78	2,00	2,08	1,97	2,91	1,74	1,65	1,80
M	15,3	10,5	-	13,1	17,8	7,6	-	12,7

Fall-Nr. 26:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	10,5	10,6	7,3	9,9	10,8	10,0	6,4	8,4
Dmax	10,9	11,9	10,2	-	13,1	12,3	10,0	-
Dmin	10,3	10,1	3,0	-	10,0	8,0	3,8	-
A	1,96	0,53	1,78	1,62	1,46	1,86	2,32	1,98
M	10,9	10,9	-	10,9	12,0	11,7	-	11,9

Fall-Nr. 27:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	9,2	6,2	2,5	3,7	5,6	5,3	2,7	3,4
Dmax	10,2	10,3	8,0	-	10,0	10,2	5,5	-
Dmin	8,0	2,0	0,5	-	3,0	3,5	0,5	-
A	2,15	1,27	1,16	1,26	3,00	3,80	1,51	1,96
M	13,8	15,0	-	14,4	10,4	14,6	-	12,5

Fall-Nr. 28:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	13,2	10,2	8,4	9,3	10,7	9,8	9,3	9,7
Dmax	15,0	13,2	14,2	-	10,6	12,8	11,5	-
Dmin	11,2	6,0	5,0	-	8,0	10,1	5,0	-
A	2,45	2,54	2,18	2,25	1,82	1,50	0,79	1,10
M	10,0	10,8	-	10,4	15,0	22,0	-	18,5

Fall-Nr. 29:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,0	10,4	9,0	9,3	12,8	9,3	9,1	9,4
Dmax	12,3	13,4	11,2	-	13,0	10,5	10,6	-
Dmin	10,2	10,0	3,5	-	12,6	3,0	4,0	-
A	5,60	5,00	1,56	2,16	1,25	2,00	1,50	1,61
M	12,5	17,5	-	15,0	12,5	10,5	-	11,5

Fall-Nr. 30:

	Grundplatte				Deckplatte			
	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.	RLd.	RLv.	LAM.	GESPR.
D	11,0	9,7	7,6	8,4	10,8	13,8	8,7	9,2
Dmax	11,3	11,3	13,5	-	11,4	15,0	13,6	-
Dmin	10,5	6,0	2,5	-	10,1	12,5	1,5	-
A	0,20	3,45	2,19	2,16	6,50	1,26	2,30	2,42
M	11,3	13,3	-	12,3	8,7	8,3	-	8,5

D a n k s a g u n g

Herrn Professor Dr. Otte möchte ich für die Überlassung des Themas, für die Ratschläge zur praktischen Durchführung und für die Korrektur der Arbeit freundlichst danken.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. Piroth für seine Beratung und Unterstützung im radiologischen Teil der Arbeit.

Frau G. Willnow danke ich herzlichst für das Schreiben der Arbeit.

Frl. E. Engel danke ich für ihre Hilfe bei der Anfertigung der Tabellen.

L e b e n s l a u f

Am 25. Februar 1952 wurde ich, Ulrich Unflath, als Sohn des Zahnarztes Anton Unflath und seiner Ehefrau Hildegard, geborene Saxenberger, in Wolfratshausen/Obb. geboren.

Nach meiner Einschulung 1958 besuchte ich ab 1962 das Gymnasium in Bad Tölz und legte dort im Juni 1972 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1972/1973 studierte ich Tiermedizin an der Universität in München.

Im Sommersemester 1973 wechselte ich zum Studium der Zahnmedizin an die Mainzer Universität über. Dort bestand ich 1973 das Vorphysikum und 1975 das Physikum.

Am 15. November 1977 bestand ich an der Universität in Mainz das zahnärztliche Staatsexamen.

Von Januar bis August 1978 war ich als wissenschaftlicher Angestellter in der Abteilung für Kiefer- und Gesichtschirurgie der Medizinischen Hochschule Lübeck tätig.

Ab August 1978 leiste ich meinen Grundwehrdienst in der Bundeswehrzahnstation der Lettow-Vorbeck-Kaserne in Hamburg ab.

